



Bruno Miguel Antunes Fernandes

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Painéis compósitos de madeira-cimento com resíduos do pseudocaule da bananeira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil de
Construção

Orientadora: Professora Doutora Paulina Faria, Professora Associada em Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pinho Ramos, Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Engenheiro José Pinheiro Soares, Diretor Técnico da Investwood, SA

Vogal: Prof^a. Doutora Paulina Faria, Professora Associada da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2019

Copyright © Bruno Miguel Antunes Fernandes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação, através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de a divulgar através de repositórios científicos de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Começo por agradecer a todos os que, de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e académico, no seio da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Instituição que, graças ao seu corpo docente, não docente e associados, me permitiu adquirir capacidades e competências para um eficaz ingresso no mercado laboral.

À professora Paulina Faria, pela orientação prestada nesta fase do meu percurso académico, pela disponibilidade, compreensão, apoio e incentivo, deixo o meu profundo agradecimento. A toda a equipa técnica da VIROC Portugal, S.A., fico imensamente grato pela disponibilidade e auxílio prestado durante a campanha experimental. Ainda aos restantes docentes do DEC, deixo o meu agradecimento pela ajuda prestada e por todo o conhecimento transmitido. Ao Engenheiro Vítor e ao Jorge, um agradecimento especial por todo o acompanhamento laboratorial, durante parte da minha dissertação.

À minha família, que me acompanhou desde sempre nesta minha demanda pelo conhecimento, que me proporcionaram força em momentos de fragilidade, que me incentivaram de todas as maneiras possíveis, deixo sob forma de agradecimento o meu enorme apreço e carinho. É para vocês que vai o meu maior agradecimento, porque sem o apoio que me deram e sem os ensinamentos que me passaram, não tinha sido possível chegar onde cheguei.

Quero ainda agradecer aos meus colegas e amigos que me acompanharam no meu percurso académico, em especial ao Igor “Iiiigoor”, Leandro “Carabina”, Popas, Catarina “Jumenta”, Pires “Piranga”, Bruno “Jico”, Gargalo “Afilhado”, Nuno “Xé”, Rafa “Discípulo”, Gabriel “Serro”, Daniel “Mestre”, Roberto “Melspin” e Ana “Iena”.

Um gigante obrigado, a ti Rafa, que me ajudaste a criar a Team Hernandez, quero que saibas que para mim és o sócio nº1. Jumenta, obrigado pela equipa que formámos, deve ter sido a melhor dupla de relatórios e apresentações que existiu naquele curso. Gargalo, obrigado por teres sido o melhor afilhado que eu já tive, mesmo que tenhas sido o único. Xé, obrigado por todos os apontamentos que não me deste, e por todos os treinos fracos que fizemos. Serro, obrigado pelos momentos hilariantes e pelas horas infinitas a jogar snooker e a falar de carros. Mestre, um obrigado do fundo do coração por teres lutado a meu lado... permitiu que chegasse onde cheguei. Melspin, nem preciso de escrever nada, acho que já gastei muitos litros de gasolina a agradecer-te... obrigado por tudo, sem ti não tinha conseguido.

Em especial à minha namorada, Ana Elias, quero agradecer-te por todos os momentos que passámos juntos, por todo o apoio que me tens dado e continuas a dar. O melhor que a faculdade me deu realmente não foi o diploma de mestre, mas sim ter conhecido uma pessoa como tu!

Resumo

Cada vez mais, o tema da economia circular é abordado e estudado em diversas áreas, havendo a necessidade de reduzir o consumo de recursos naturais e, assim, de reintroduzir resíduos e subprodutos no processo produtivo de outros materiais.

Durante as últimas décadas, vários estudos têm vindo a ser desenvolvidos na área do aproveitamento de resíduos de origem vegetal para formulação de materiais de construção, visando a produção de materiais de menor energia incorporada.

Estes biomateriais, como são designados, são reconhecidos por apresentarem adequadas propriedades mecânicas, físicas e químicas, vindo a apresentar provas de valor à medida que novos ensaios e estudos são realizados. No entanto, apresentam por vezes maior vulnerabilidade à degradação biológica.

O pseudocaule de bananeira é um resíduo gerado em grande quantidade uma vez que tem de ser cortado da bananeira com grande periodicidade.

Com base nestes pressupostos, a presente dissertação estuda a viabilidade da utilização das fibras do pseudocaule da bananeira para a produção de painéis compósitos madeira-cimento, que se incluem no grupo dos *cement bonded particleboards* (CBPB). O objetivo é criar uma alternativa mais ecológica e sustentável, aos painéis comercialmente designados por painéis VIROC.

Com base na formulação de referência definida pela fábrica, produziram-se em laboratório provetes de placas com 0 %, 25 %, 50 % e 75 % de substituição parcial de partículas de madeira por fibras de pseudocaule da bananeira, que foram caracterizados por ensaios físico-mecânicos, de acordo com a normalização em vigor para este tipo de placas.

Para o fabrico destes provetes foi necessário adotar um processo de trituração das fibras expedito e do qual restassem fibras adequadas à produção da VIROC, criar moldes apropriados para a sua conceção e definir um processo de fabrico que simulasse o efetuado na fábrica.

A campanha experimental apresentou resultados promissores, tendo sido possível cumprir, na maior parte dos casos, os requisitos definidos na normalização europeia dos CBPB. As fibras apresentam menor teor de açúcar comparativamente à madeira fresca, o que pode obviar a tempos de imobilização dos troncos na fábrica, antes de serem utilizados. A introdução das fibras promoveu, principalmente, o aumento do módulo de elasticidade em flexão e a redução do inchamento em espessura dos painéis. Propõe-se, assim, a continuação desta linha de investigação com vista à introdução destas fibras de origem vegetal na produção industrial dos painéis VIROC.

Palavras chave: material sustentável; economia circular; resíduo de origem vegetal; fibra de pseudocaule da bananeira; módulo de elasticidade em flexão; nível de açúcar; inchamento em espessura.

Abstract

Increasingly, the issue of circular economy is approached and studied in various areas, with the need to reduce the consumption of natural resources and, thus, to reintroduce wastes and byproducts into the production process of other materials.

During the last decades, several studies have been developed in the area of utilization of residues with vegetal origin for the formulation of building materials, aiming at the production of materials with lower incorporated energy. These biomaterials, as they are called, are recognized for their adequate mechanical, physical and chemical properties, and are proving valuable as new tests and studies are carried out. However, they are sometimes more vulnerable to biological degradation.

Banana pseudostem is a waste generated in large quantity as it has to be cut from the banana tree with great periodicity.

Based on these assumptions, the present dissertation studies the feasibility of using banana pseudostem particles to produce cement bonded particleboards (CBPB). The aim is to create a greener and more sustainable alternative to panels commercially referred as VIROC panels, made with raw wood particles.

Based on the reference formulation defined by the factory, test specimens were produced in the laboratory with 0 %, 25 %, 50 % and 75 % partial replacement of wood particles with banana pseudostem fibers, which were characterized by physical and chemical tests, according to the standards in force for this type of products.

For the manufacture of these specimens it was necessary to adopt an expedient fiber milling process to obtain particles viable to VIROC's process, to create appropriate molds for their design and to define a manufacturing process that would simulate what is done at the factory.

The experimental campaign yielded promising results and, in most cases, it was possible to meet the requirements set out in the CEN CBPB standardization. The banana fibers have a lower sugar content compared to fresh wood, which can obviate the time of stopping the logs in the factory before being used. The introduction of the fibers mainly promoted the increase of the flexural modulus of elasticity and the reduction of the thickness swelling of the panels. Thus, some improvements in the production and characteristics of the test particleboard specimens were achieved by partially replacing wood particles with banana pseudostem fibers. As well, it is proposed the continuity of this research line with a view of introducing these waste fibers into the industrial production of VIROC panels.

Keywords: sustainable material; circular economy; waste of vegetable origin; banana pseudostem fiber; flexural modulus of elasticity; sugar level; swelling in thickness.

Índice de texto

1.	Introdução.....	1
1.1.	Contexto	1
1.2.	Objetivos e metodologia.....	2
1.3.	Estrutura da dissertação.....	3
2.	Painéis com base em madeira e resíduos da produção de bananeira	5
2.1.	Madeira e painéis com base em madeira	5
2.2.	Painéis compósitos de madeira-cimento.....	6
2.3.	Cultivo da bananeira.....	7
2.3.1.	Caraterísticas e produção da bananeira	7
2.3.2.	Resíduos da produção de banana.....	9
2.4.	Comparação das propriedades do pinho bravo português e do pseudocaule da bananeira com outras fibras de origem vegetal.....	10
2.4.1.	Propriedades mecânicas.....	10
2.4.2.	Propriedades químicas	11
2.5.	Caracterização de painéis com base em cimento e resíduos vegetais	13
3.	Painéis da empresa VIROC	17
3.1.	Contextualização e aplicações	17
3.2.	Tratamento e processo de corte das aparas de madeira	18
3.3.	Processo de fabrico e composição do CBPB.....	19
3.4.	Caraterísticas dos painéis VIROC	21
3.5.	Circularidade da economia	24
4.	Materiais, provetes e amostras	27
4.1.	Fibras de pseudocaule da bananeira	27
4.2.	Aparas de pinho bravo português	28
4.3.	Resíduos da mistura madeira-cimento.....	28
4.4.	Sulfato de alumínio e silicato de sódio.....	28
4.5.	Processo de fabrico dos painéis	29
5.	Procedimentos de ensaio	37
5.1.	Caracterização dos materiais	37
5.1.1.	Quantidade de açúcar presente na fibra do pseudocaule da bananeira	37
5.1.2.	Análise granulométrica.....	38
5.1.3.	Baridade das fibras	40
5.2.	Caracterização de amostras dos painéis.....	40
5.2.1.	Condutibilidade térmica dos painéis.....	40

5.2.2.	Massa volúmica	41
5.2.3.	Teor de humidade	42
5.2.4.	Espessura, resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão	42
5.2.5.	Resistência à tração perpendicular às faces da placa.....	43
5.2.6.	Inchamento em espessura após imersão em água.....	44
5.2.7.	Resistência à tração e do inchamento em espessura através de ensaios cíclicos	45
6.	Resultados e discussão	47
6.1.	Características dos materiais	47
6.1.1.	Açúcares presentes nas fibras de bananeira e na madeira de pinho.....	47
6.1.2.	Granulometria das fibras de bananeira, pinho bravo e resíduos VIROC.....	48
6.1.3.	Baridade das fibras	51
6.2.	Caraterísticas das amostras dos painéis	52
6.2.1.	Condutibilidade térmica	52
6.2.2.	Massa volúmica	54
6.2.3.	Teor de humidade	54
6.2.4.	Espessura, resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão	55
6.2.5.	Resistência à tração perpendicular às faces da placa.....	57
6.2.6.	Inchamento em espessura após imersão em água.....	59
6.2.7.	Resistência à tração e do inchamento em espessura através de ensaios cíclicos	60
6.3.	Síntese de resultados.....	62
7.	Conclusões.....	65
7.1.	Considerações finais.....	65
7.2.	Trabalhos futuros.....	67
	Anexo – Resultados individuais dos ensaios	73

Índice de figuras

Figura 2.1. (a) Fibras de pseudocaule da bananeira; (b) Palmito da bananeira após remoção das fibras envoltivas; (c) Corte do pseudocaule da bananeira.	8
Figura 2.2. (a) Representação do processo reprodutivo da bananeira; (b) Poda de plantas com grande proximidade.....	9
Figura 2.3. (a) Amostras secas de fibras do pseudocaule da bananeira; (b) Descasque das fibras do pseudocaule da bananeira; (c) Corte transversal da fibra depois de seca, com vista para os canais de passagem da água.	9
Figura 2.4. Valores de resistência à tração.....	11
Figura 2.5. Valores de módulo de elasticidade em flexão.	11
Figura 2.6. Exemplos de materiais sustentáveis estudados por outros autores: (a) Esquema representativo do painel de palha e casca de arroz; (b) Aspetto do painel de carolo de milho; (c) Aspetto do painel de casca de arroz.....	16
Figura 3.1. Exemplos de aplicação dos painéis VIROC: (a) teto; (b) parede interior; (c) fachada exterior. .	17
Figura 3.2. Zona de descasque dos troncos de madeira: (a) Passagem dos toros em máquina de remoção da casca; (b) Resíduos resultantes do descasque dos toros.	18
Figura 3.3. Aparas de madeira após trituração.....	19
Figura 3.4. (a) Toros de madeira após descasque; (b) Aparas de madeira após passagem pela afinadora. ...	19
Figura 3.5. Mistura do aglomerado, antes do processo de prensagem: “colchão”.....	20
Figura 3.6. (a) Equipamento de prensagem do aglomerado; (b) Zona de corte das placas.....	21
Figura 3.7. Percentagem de cada composto, por unidade de massa (kg), de cor branca e cinza.	21
Figura 3.8. Percentagem de cada composto, por unidade de peso (kg), de restantes cores.	21
Figura 3.9. (a) Gama de cores exposta na fábrica da VIROC Portugal S.A.; (b) Painéis de cor clara e escura, em armazém na fábrica da VIROC Portugal S.A.	22
Figura 3.10. (a) Resíduos provenientes das aparas de madeira fora da gama a utilizar; (b) Depósito de resíduos: aparas de madeira de grandes dimensões, casca e, ao fundo, pedaços e misturas de painéis VIROC “não conformes”.	25
Figura 3.11. Amostras de misturas não conformes extraídas do depósito de resíduos da fábrica.	25
Figura 4.1. (a) Moinho de lâminas e respetivo interior do equipamento; (b) Aspetto das fibras de pseudocaule da bananeira moídas.	27
Figura 4.2. Corte manual das fibras.	28
Figura 4.3. Corte transversal de uma amostra de painel VIROC.....	29
Figura 4.4. (a) Mistura com berbequim de argamassa; (b) Mistura manual; (c) Aspetto da mistura final. ...	30
Figura 4.5. Processo de deposição do material por camadas e aspeto final dos provetes antes da prensagem.....	31
Figura 4.6. Esquema do processo de prensagem e respetiva fixação dos provetes.....	31
Figura 4.7. Técnica de prensagem e grampeamento utilizado por Latorraca (1996).	32
Figura 4.8. (a) Câmara climática; (b) Prensa utilizada para o fabrico dos painéis.....	32
Figura 4.9. Deformação dos perfis de aço após a força aplicada na prensagem dos provetes.	33

Figura 4.10. (a) Provetes de dimensões $\pm 400 \times 300$ mm; (b) Provetes de dimensões $\pm 300 \times 300$ mm.....	34
Figura 4.11. Equipamento de cortes dos painéis VIROC utilizado para o corte das placas.	34
Figura 4.12. Geometria das amostras após corte dos provetes.	36
Figura 5.1. Processo de lavagem das fibras de bananeira.	38
Figura 5.2. (a) Processo de esquartelamento dos resíduos; (b) Pesagem da amostra inicial dos resíduos; (c) Disposição granulométrica do resíduo.	39
Figura 5.3. Equipamento utilizado para a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica.	41
Figura 5.4. Esquema das zonas de medição para o ensaio de condutibilidade térmica numa placa.	41
Figura 5.5. Ensaio à flexão de provete prismático no equipamento Zwick Roell ZO10.	43
Figura 5.6. (a) Processo de secagem da colagem dos suportes metálicos aos provetes; (b) Encaixe dos suportes metálicos no aparelho de ensaio.	44
Figura 5.7. Equipamento de banho térmico dos provetes.	45
Figura 6.1. Teor de açúcar presente no pinho bravo e fibras de bananeira lavadas e não lavadas.	47
Figura 6.2. Traçado das curvas granulométricas do pseudocaule da bananeira, das aparas de madeira e dos resíduos da VIROC.	50
Figura 6.3. Comparativo curvas granulométricas: pseudocaule da bananeira resíduos vs aparas de madeira vs resíduos VIROC.	50
Figura 6.4. Separação granulométrica dos diferentes materiais, acima e abaixo de 1 mm: (a) fibra de pseudocaule da bananeira triturada; (b) pinho bravo triturado.	51
Figura 6.5. Baridade das fibras, consoante o seu tipo e dimensão granulométrica.....	52
Figura 6.6. Condutibilidade térmica das zonas laterais e centrais dos provetes.	53
Figura 6.7. Massa volúmica dos provetes analisados, comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de painéis compósitos de diferentes materiais.	54
Figura 6.8. Teor de humidade presente nos provetes ensaiados, comparativamente a resultados dos painéis VIROC e outros painéis compósitos.	55
Figura 6.9. Espessuras médias dos provetes ensaiados.....	56
Figura 6.10. Resistência à flexão dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.	56
Figura 6.11. Módulo de elasticidade em flexão dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.	57
Figura 6.12. Resistência à tração dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.	58
Figura 6.13. Zona de rutura dos provetes após ensaio de tração.....	58
Figura 6.14. Vista do interior dos provetes após ensaio de tração: (a) provete elaborado industrialmente na VIROC; (b) provete produzido manualmente na FCT NOVA.	59
Figura 6.15. Inchamento em espessura dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.	59
Figura 6.16. Resistência à tração dos provetes ensaiados antes e após envelhecimento acelerado por ensaios cíclicos.....	60
Figura 6.17. Inchamento em espessura dos provetes ensaiados antes e após envelhecimento acelerado por ensaios cíclicos.....	60
Figura 6.18. Eflorescência presente nos provetes, após ensaios cíclicos.	61

Índice de tabelas

Tabela 2.1. Quantidade de banana produzida em alguns países.	8
Tabela 2.2. Teores químicos de algumas fibras vegetais.	12
Tabela 2.3. Comparação das percentagens dos constituintes químicos do <i>Pinus pinaster</i> e do pseudocaule da bananeira, com valores médios de outras fibras de origem vegetal.	13
Tabela 2.4. Propriedades físicas e mecânicas de painéis compósitos com base em cimento e madeira.	14
Tabela 2.5. Propriedades físicas e mecânicas de painéis compósitos com base em cimento e outras fibras de origem vegetal.	15
Tabela 3.1. Valores máximos e intervalos, a serem respeitados pelos painéis VIROC aquando do seu fabrico	23
Tabela 4.1. Nomenclatura dos provetes consoante a sua composição.	35
Tabela 4.2. Número de provetes ensaiados, de modo a respeitar as normas de requisitos de cada ensaio.	36
Tabela 6.1. Peneiros e aberturas, com respetivas percentagens de fibra de pseudocaule da bananeira retida.	48
Tabela 6.2. Peneiros e aberturas, com respetivas percentagens de aparas de pinho bravo português retido.	49
Tabela 6.3. Peneiros e aberturas, com respetivas percentagens de resíduos VIROC retido.	49
Tabela 6.4. Valores médios do coeficiente de condutibilidade térmica de cada provete, em W/(m.°C) e desvio padrão dos valores médios obtidos.	52
Tabela 6.5. Síntese de resultados dos valores obtidos pelos ensaios dos provetes.	63

1. Introdução

1.1. Contexto

Ao longo dos últimos anos, tem-se vindo a dar cada vez mais importância à necessidade de utilizar resíduos e subprodutos como alternativa, pelo menos parcial, aos recursos naturais na produção dos materiais de construção. Tal deve-se, por um lado, aos recursos naturais serem finitos e, por outro lado, à dificuldade na gestão dos resíduos. Assim, criar alternativas para os diferentes setores produtivos de maneira a reduzir o consumo excessivo de recursos naturais, utilizando simultaneamente resíduos e subprodutos industriais, é uma tarefa fulcral para um futuro mais sustentável e promissor para gerações futuras.

Segundo Goodland *et al.* (1987), o conceito de desenvolvimento sustentável pode ser definido como um padrão de alterações económicas, sociais e estruturais visando desenvolvimentos sociais e económicos disponíveis no presente, sem impacto negativo em benefícios similares no futuro. O objetivo deste conceito é atingir um bem-estar económico razoável e distribuído de igual forma, perpetuando-se assim por muitas gerações humanas. Isto implica o uso minimizado de recursos não renováveis naturais tendo em consideração que se podem degradar ou extinguir, ou diminuir a sua utilidade para gerações vindouras. Recorrendo a Markandya *et al.* (1988), os recursos naturais e ambientais devem ser usados de maneira sustentável ao longo do tempo. Segundo este autor, aplicando a ideia aos recursos, o conceito de sustentabilidade estabelece que uma dada quantidade de recursos (árvores, solo, água, etc.) não deveria declinar.

De acordo com Moraes *et al.* (2015), estima-se que a cada ano, cerca de 10 toneladas de matéria-prima seja extraída do solo por habitante. Dos vários setores existentes, a construção civil possui das maiores relações de interdependência com o meio ambiente. Há assim a necessidade de reduzir o seu impacto negativo, indo de encontro à utilização de resíduos existentes para a criação de novos materiais de construção.

Como a construção civil a nível mundial ainda tem um efeito muito nefasto no meio ambiente, a forma de construir necessita ser repensada. Através de investigação e investimentos no setor tecnológico, é possível alterar o futuro que se está a traçar. Os governos também devem estar dispostos a criar incentivos para que haja mais pesquisa e investimentos principalmente na área de estudos de novos materiais.

A geração de resíduos da construção e demolição (RCD) também é um grave problema, além de ser algo que compromete e causa impactos não apenas hoje, mas futuramente (Moraes *et al.* (2015). Ao serem incorporados novamente no setor produtivo, os RCD entram na circularidade da economia.

Os resíduos de origem vegetal, de que são exemplo os resíduos gerados pelo cultivo da bananeira, começam também a ganhar importância e visibilidade com o apoio dos vários estudos que se têm vindo a desenvolver em torno deste tema, comprovando os seus benefícios ao nível de vários setores, abrangendo áreas desde a medicina, até à construção civil.

O tempo de vida útil da bananeira é de aproximadamente 2 anos, período durante o qual se dá origem à germinação de outras bananeiras. Consequentemente as mais antigas necessitam de ser removidas e as mais novas de serem afastadas para que possam crescer com as condições necessárias. Durante o seu período de exploração e ao terminar o seu tempo de vida, são gerados resíduos vegetais, nomeadamente a folha da bananeira e o seu pseudocaule, havendo interesse em que estes possam ser aproveitados.

Através de uma parceria entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT NOVA) e a empresa de produção de painéis de madeira-cimento VIROC Portugal S.A., do grupo Investwood, procurou-se avaliar o potencial de aplicação de resíduo de pseudocaule da bananeira na produção de placas compósitas de madeira-cimento para aplicação na construção. A redução dos impactos ambientais e o melhor aproveitamento dos recursos naturais atualmente existentes serão sempre o maior foco ao longo desta dissertação.

1.2. Objetivos e metodologia

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar a viabilidade de desenvolver painéis compósitos de madeira-cimento, com substituições parciais de partículas de pinho bravo por fibras de pseudocaule da bananeira, que apresentem boas propriedades químicas, físicas e mecânicas. Pretende-se contribuir para a criação de um novo produto, que possa ser fabricado e comercializado em alternativa a painéis existentes, correntemente designados por painéis VIROC.

Para serem atingidos os objetivos realizou-se uma revisão bibliográfica alusiva ao tema, de forma a tomar conhecimento sobre produtos iguais ou similares que possam já existir ou ter sido estudados por outros autores. Analisaram-se as condições necessárias de viabilidade do fabrico destes painéis e, com base em resultados introdutórios e estudos prévios obtidos, realizou-se um plano sequencial do tipo de placas a produzir. Para o fabrico destas placas seguiram-se as normas e métodos adotados pela empresa, tendo sido necessário desenvolver todo um processo de produção manual, uma vez que não foi possível a utilização dos equipamentos adotados na fábrica. Houve a necessidade de encontrar um processo de trituração a partir do qual se obtivessem fibras adequadas, fabricar moldes para a conceção dos provetes e propor um processo de fabrico expedito e eficaz. Depois de definidas todas as soluções necessárias ao processo de produção, foram fabricadas placas com diferentes composições, tendo como variáveis a dimensão e a percentagem de fibra de madeira e pseudocaule da bananeira.

Contudo, devido à limitação de fibras de pseudocaule da bananeira, nem sempre foi produzido o número mínimo de placas necessário para respeitar o número mínimo de provetes requerido pelas normas de ensaio, de modo a cumprir a norma de requisitos.

Os provetes de placas foram, então, caracterizados fisicamente e mecanicamente, nos laboratórios do DEC da FCT NOVA e da fábrica da VIROC em Setúbal, tentando sempre respeitar o mais possível os documentos de referência adotados.

Sempre que possível tentou-se comparar todas as amostras produzidas com os produtos fabricados nas instalações da VIROC.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos principais, sendo o primeiro o presente, destinado à contextualização, objetivos e estruturação do tema a desenvolver. De seguida apresenta-se uma breve descrição sumária de cada um dos seguintes capítulos:

O Capítulo 2, **Painéis com base em madeira e resíduos da produção de bananeira**, apresenta uma contextualização da evolução do uso da madeira como material construtivo e as suas características genéricas. É exposta também a relação da madeira com o cimento e o estado atual do conhecimento acerca do cultivo da bananeira, onde são apresentadas informações acerca do pseudocaule da bananeira como um resíduo agrícola. Apresenta-se uma síntese resultante da pesquisa bibliográfica inerente ao tema das fibras de origem vegetal e dos painéis madeira-cimento.

No Capítulo 3, **Painéis da empresa VIROC**, segue-se uma descrição relativa à produção de painéis compósitos de madeira-cimento, que resultam da combinação destes dois materiais. Descreve-se o processo de fabrico dos painéis compósitos de madeira-cimento da empresa VIROC Portugal S.A., bem como as suas características.

No Capítulo 4, **Materiais, provetes e amostras**, são apresentados e caracterizados os materiais a usar na execução de amostras de painéis e todos os métodos e processos adotados para o seu fabrico.

No Capítulo 5, **Procedimentos de ensaio**, encontram-se descritos todos os procedimentos de ensaio a realizar para a caracterização dos materiais e das amostras de painéis.

No Capítulo 6, **Resultados e discussão**, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos, comparando-os entre si, com os requisitos para este tipo de material e, sempre que possível, com valores disponíveis na bibliografia consultada.

No Capítulo 7, **Conclusões**, são apresentadas as observações finais de todo o trabalho e propostas para futuros trabalhos.

Seguem-se as referências bibliográficas mencionadas e utilizadas ao longo do trabalho.

Em anexo apresentam-se, em tabelas, os resultados individuais de todos os ensaios realizados.

2. Painéis com base em madeira e resíduos da produção de bananeira

2.1. Madeira e painéis com base em madeira

Desde o surgimento do Homem até à atualidade, as técnicas construtivas e a arte de improvisar dependeram sempre dos recursos que se encontram disponíveis. Os processos manuais e primitivos adotados pelo ser humano, há muitos séculos atrás, tendem a ser substituídos cada vez mais por processos automatizados, levando à engenhosa indústria moderna como se conhece hoje.

Paralelamente à evolução da História está a evolução da engenharia, que vai acompanhando a necessidade de os povos satisfazerem as suas necessidades do quotidiano, tendo sempre em conta que o consumo de recursos e matérias-primas atuais levantam questões relevantes no que toca às gerações futuras e à regeneração de recursos. De tal modo que, a utilização continuada de materiais, como é o caso da madeira que é um material renovável, necessita de ser repensado tendo em consideração que, atualmente, é uma matéria-prima bastante utilizada e, por conseguinte, começa-se a denotar uma maior escassez da matéria-prima supracitada no nosso planeta. Tal como acontece em Portugal, e noutros países que sofrem com incêndios de forma recorrente, por causas naturais ou negligentes, a necessidade de encontrar uma alternativa à madeira torna-se assim ainda mais fulcral.

A madeira representa um dos materiais mais leves e sustentáveis de construção, ocupando um lugar fundamental no desenvolvimento da história dos materiais e processos construtivos, continuando ainda hoje a dar frutos das suas mais valias. É um material de engenharia muito valioso e, em muitos casos, os avanços tecnológicos tornaram-no ainda mais útil. Os fatores inerentes que mantêm a madeira na vanguarda das matérias-primas são vastos e variados, mas um atributo principal é sua disponibilidade em muitas espécies, tamanhos, formas e condições para atender a quase todas as necessidades. A madeira tem uma alta relação entre resistência e massa e um registo notável de durabilidade e desempenho como material estrutural (Parracha, 2018). Quando seca tem boas propriedades de isolamento térmico, acústico e de condutibilidade elétrica. A sua morfologia e tonalidades fazem dela um material esteticamente agradável e a sua aparência pode ser facilmente alterada através de revestimentos como vernizes e lacas, entre outros acabamentos, podendo também ser esculpida com facilidade. A madeira danificada é facilmente reparada e as estruturas de madeira são correntemente reforçadas, alteradas ou reutilizadas. Além disso, resiste à oxidação, água salgada e outros agentes corrosivos, tem alto valor de recuperação, boa resistência ao choque, pode ser tratada com conservantes e retardantes de fogo e pode ser combinada com quase qualquer outro material para usos funcionais e estéticos (Parracha, 2018).

A sua proveniência e tratamentos ditam as suas funções, ou seja, a madeira macia pode ser usada para dobradiças, caixilhos, postes e estacas, entre muitos outros componentes de construção. Ao invés, a madeira dura pode ser usada na construção de pisos, trabalhos em madeira arquitetónica, carpintaria de interiores e

painéis. A madeira pode ser usada maciça, contudo, subprodutos da fileira da madeira são utilizados para a produção de diversos materiais, mesmo para a construção. As indústrias baseadas em madeira de crescimento mais vigoroso são aquelas que convertem madeira em lâminas finas (folheado), partículas (lascas, flocos) ou polpas de fibra e reúnem os elementos para produzir vários tipos de painéis de engenharia (Maloney, 1993).

De acordo com as várias espécies existentes, e com o atual acesso a variados processos de fabrico e tratamento, é possível fabricar painéis de vários tipos, nomeadamente: contraplacados - placas realizadas à base de lâminas de madeira sobrepostas; aglomerados de partículas de madeira - placas produzidas à base de partículas; HDF (*High Density Fiberboard*) e MDF (*Medium Density Fiberboard*) - placas produzidas à base de fibras de madeira muito pequenas, aglutinadas com maior ou menor compacidade; OSB (*Oriented Strand Board*) - placas compostas por lascas de madeira.

Quando se fala na utilização da madeira como material de construção, é inevitável referir-se também o cimento dado que, este material compõe a percentagem maioritária na constituição de grande parte das construções. Estes materiais podem ser combinados, por exemplo em placas para a construção. No entanto, a exploração da madeira como recurso único a ser utilizado para a conceção de painéis compósitos madeira - cimento continua a ser um problema do ponto de vista da sustentabilidade. É necessário criar alternativas, tentando manter as qualidades que estes e outros tipos de painéis conseguem oferecer ou até mesmo melhorá-las, indo de encontro à utilização de outros resíduos naturais que ainda não estão estudados e continuam a ter de ser geridos como resíduos.

É necessário racionalizar a utilização da madeira tentando manter o equilíbrio florestal e ambiental necessário à prospeção das gerações futuras. Assim, surge o interesse da caracterização destes painéis utilizando como matéria-prima, alternativa à madeira, outras fibras de origem vegetal. Vários estudos relacionados com estas fibras têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, cujas conclusões são cada vez mais apelativas ao seu uso, apresentando inúmeras mais-valias face aos materiais produzidos atualmente.

2.2. Painéis compósitos de partículas e cimento

Como referido, um nicho em crescimento na construção civil é representado por materiais renováveis e, dentre essas possibilidades, há um uso mais amplo da madeira e outros elementos vegetais como substituto de outros componentes básicos.

Painéis compósitos de partículas vegetais e cimento reúnem as propriedades desejáveis de ambos os materiais que oferecem oportunidades ao nível do design, além de serem geralmente substitutos mais leves dos materiais convencionais e apresentarem um desempenho estrutural mais versátil. Estes painéis possuem uma longa história de aplicação e aceitação no setor da construção civil, principalmente na Europa e Ásia, com uma produção de 2,4 milhões de m³, segundo Latorraca (1996). No entanto, é conhecida a utilização de placas de compósitos de partículas de madeira e cimento nos Estados Unidos, desde a década de 40, onde

houve um crescimento na sua utilização devido a problemas de saúde que surgiram naquela época causadas pelo amianto (constituente do fibrocimento), bastante nocivo ao ser humano (Gjinolli *et al.*, 1996).

Denominadas em inglês de *cement-bonded particleboard* (CBPB), são classificadas como painéis compósitos pelo fato de serem formados pela união de materiais de naturezas diferentes, com o objetivo de criar um produto de melhor qualidade. Hoje em dia, surgem como resposta bastante eficaz a alguns problemas criados pelas necessidades ao nível arquitetónico e construtivo, indo de encontro a uma citação de De la Sota (1995): “As mudanças de estilos arquitetónicos foram sempre culturais, hoje são materiais. Unicamente novos materiais permitem uma nova arquitetura”.

2.3. Cultivo da bananeira

De acordo com os dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2018), a banana é o segundo fruto mais consumido a nível mundial, seguido do tomate, atingindo um número recorde da sua produção em 2018, de 115 milhões de toneladas, o que representa aproximadamente 5 200 milhões de pseudocaule da bananeira. Através destes dados é fácil perceber a dimensão de resíduos que a produção deste fruto gera.

Contudo, Coelho *et al.* (2001) refere que, apesar da quantidade de resíduos deste tipo gerados, são apenas utilizados pelos seus produtores para efeitos de fertilização dos terrenos ou, em alguns casos, as folhas da bananeira, funcionam como cobertura de algumas habitações de construção mais vernáculas.

2.3.1. Caraterísticas e produção da bananeira

As bananeiras são plantas herbáceas, ou seja, têm caules não lenhosos ou flexíveis. A sua origem remonta à Ásia, no entanto, espalharam-se abundantemente pelas regiões tropicais e subtropicais do mundo inteiro. É uma planta de rápido crescimento atingindo a sua plenitude em menos de dois anos, período durante o qual esta se vai reproduzindo, criando assim descendentes.

Cada bananeira produz apenas um cacho de bananas, terminando assim o seu ciclo de vida, necessitando de ser cortada à posteriori. Segundo a FAO (2018), não necessitam de muitos cuidados e apreciam ambientes húmidos; daí os maiores registos de produção desta fruta estarem associados a países como Índia, China, Filipinas, Equador, Brasil, Estados Unidos e Portugal (ilha da Madeira). De acordo com a Tabela 2.1, a Índia é o maior produtor a nível mundial.

A planta é composta essencialmente pelas suas raízes, o seu pseudocaule, as folhas e o seu fruto (banana). Apresentam caule subterrâneo denominado rizoma, de onde saem as raízes primárias de grande comprimento para procura de água, visando a hidratação dos seus tecidos (Borges *et al.*, 2004).

Tabela 2.1. Quantidade de banana produzida em alguns países, adaptado de W1.

País produtor	Quantidade produzida (toneladas)
Índia	30 000 000
China	11 000 000
Filipinas	8 000 000
Equador / Brasil	7 000 000
Estados Unidos	425 000
Portugal (ilha da Madeira)	22 000

Na parte exterior do pseudocaule encontram-se as fibras de pseudocaule que vão ser utilizadas neste trabalho, em inglês denominadas de *pseudosteem*, Figura 2.1 (a). Este nome advém de o fato da bananeira ter um “falso tronco”, o palmito, envolto numa sobreposição das fibras. Como tal, apenas pode ser observado após a remoção de todas as fibras do pseudocaule, Figura 2.1 (b), ou através de um corte transversal, Figura 2.1 (c).

No estudo sobre o cultivo da bananeira, Borges *et al.* (2004) refere que durante o seu ciclo de vida é capaz de reproduzir uma planta que se denomina “filho” e outra denominada “neto”, Figura 2.2 (a), havendo assim a necessidade de os agricultores transplantarem ou realizarem a poda aos seus descendentes para conferir o espaço necessário às bananeiras, de maneira a poderem coexistir sem causarem danos entre si, Figura 2.2 (b).

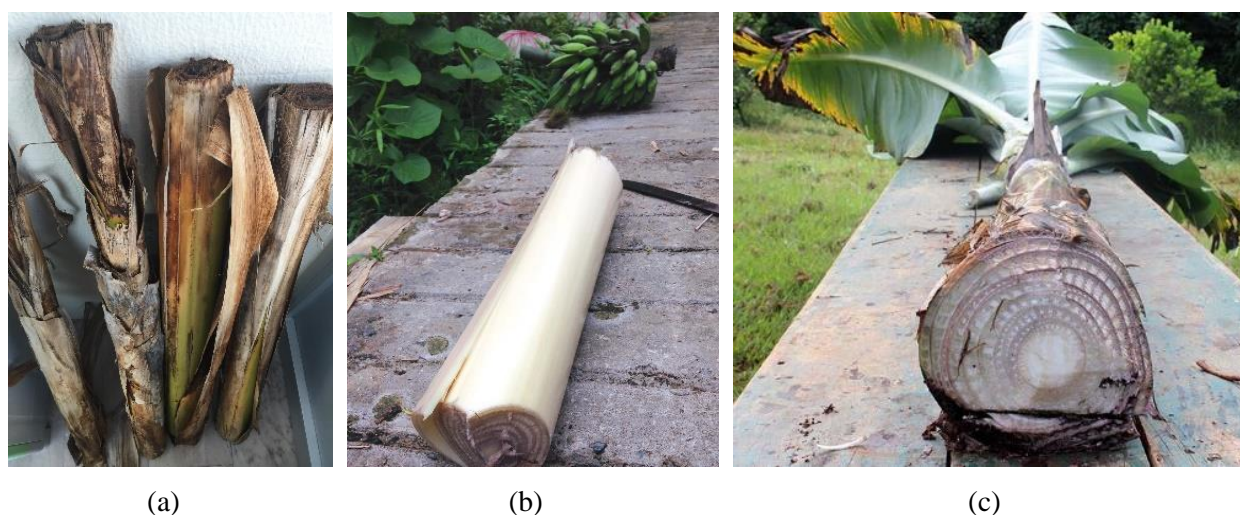


Figura 2.1. (a) Fibras de pseudocaule da bananeira; (b) Palmito da bananeira após remoção das fibras envoltivas, adaptado de Borges *et al.* (2004); (c) Corte do pseudocaule da bananeira, adaptado de Borges *et al.* (2004).



Figura 2.2. (a) Representação do processo reprodutivo da bananeira, adaptado de Borges *et al.* (2004); (b) Poda de plantas com grande proximidade, adaptado de Borges *et al.* (2004).

2.3.2. Resíduos da produção de banana

No âmbito do desenvolvimento deste trabalho, o foco são as fibras do pseudocaule da bananeira, Figura 2.3 (a). Para um crescimento saudável das bananeiras é necessária a remoção regular destas fibras que, com o passar do tempo, se vão desfolhando, Figura 2.3 (b). Esta planta transporta nos seus canais a água que vai alimentar as folhas e as bananas. Como tal, cada fibra que se vai separando do pseudocaule acaba por secar, Figura 2.3 (c), tornando-se vital a sua remoção pois dão origem a matéria morta.



Figura 2.3. (a) Amostras secas de fibras do pseudocaule da bananeira; (b) Descasque das fibras do pseudocaule da bananeira; (c) Corte transversal da fibra depois de seca, com vista para os canais de passagem da água.

Estes compostos geram para os agricultores grandes quantidades de resíduos, que ocupam áreas de terreno fundamentais para outras utilizações, custos de mão de obra associados à sua remoção e impactos negativos no comportamento do solo, tais como a dificuldade de troca de gases entre o solo e a atmosfera (Borges *et al.*, 2004).

De acordo com dados levantados por um dos maiores produtores de banana do estado de Santa Catarina, no Brasil, por cada tonelada de banana geram-se 3 toneladas de pseudocaule, 160 kg de engaços (constituente da planta onde estão fixos os cachos), 480 kg de folhas e 440 kg de cascas (Borges *et al.*, 2010).

2.4. Comparação das propriedades do pinho bravo português e do pseudocaule da bananeira com outras fibras de origem vegetal

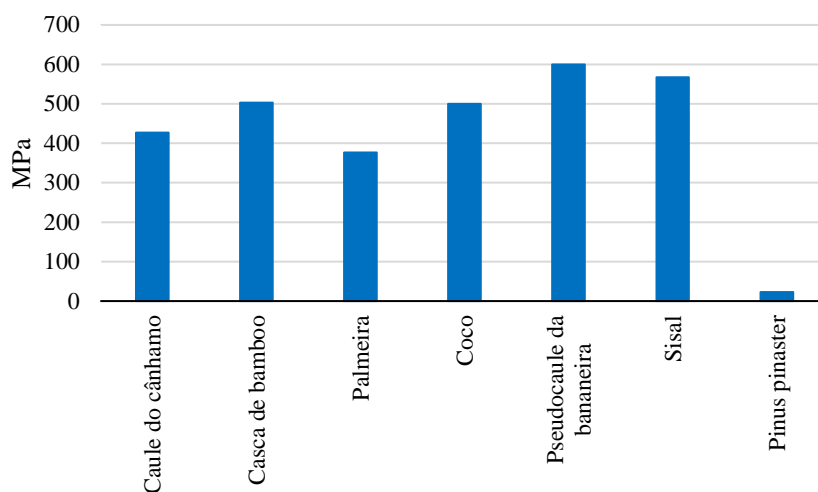
É importante perceber o comportamento destas fibras enquanto componente singular, analisando diversos materiais que, hoje em dia apresentam boas propriedades e se revelam inovadores e com grandes expectativas de prosperar no setor da construção.

2.4.1. Propriedades mecânicas

Através de uma recolha de dados de outro trabalho de investigação da autoria de Rao *et al.* (2005), foi possível analisar o comportamento mecânico de algumas fibras, nomeadamente a resistência à tração e módulo de elasticidade. Para complementar a comparação entre fibras recorreu-se a outras referências (Eichhorn & Young, (2004), Placet (2009), Bodros *et al.* (2007) e Islam, Pickering, & Foreman (2011)) para obter informações sobre o cânhamo, uma vez que é um resíduo atualmente implementado em algumas construções, nomeadamente na Nova Zelândia e República Checa. Os estudos e trabalhos realizados em torno desta fibra revelam muito potencial, justificando-se assim a sua inclusão na comparação. Relativamente ao *Pinus pinaster*, recorreu-se a Pinto (2014). Na Figura 2.4 encontram-se representados graficamente os valores das respetivas resistências à tração e a Figura 2.5 ilustra os módulos de elasticidade de flexão (E). De acordo com a interpretação dos gráficos é possível afirmar que a fibra de pseudocaule da bananeira apresenta melhor comportamento quando sujeita a esforços uniaxiais de tração; o coco é uma fibra que resiste bem a este tipo de esforços, daí o interesse de Almeida *et al.* (2002) em estudar a utilização da casca da coco para produção de CBPB, cujos resultados, serão expostos mais à frente. Em termos de módulo de elasticidade à flexão apresenta um valor de 18 GPa, cujo comportamento quando misturado com o cimento irá ser compreendido e interpretado no capítulo 6, onde são apresentados os valores de módulos de elasticidade já do material compósito.

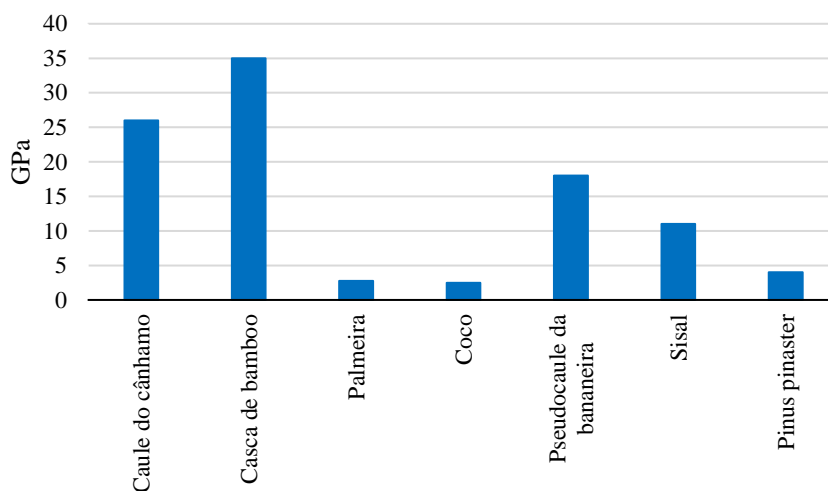
Segundo Lee (1991), o fato dos compósitos madeira-cimento possuírem na sua génese fibras, neste caso madeira de pinho bravo, torna-se vantajoso uma vez que a pasta de cimento é muito rígida, não permitindo variações dimensionais que podem resultar em futuras fraturas nas peças. Este autor concluiu, através do estudo das propriedades físicas e mecânicas, que estes tipos de painéis compósitos são mais estáveis relativamente à variação das suas dimensões devido a dois fatores: possuem muitos espaços vazios que permitem uma expansão interna e a camada de pasta de cimento que envolve as partículas retém a expansão

da madeira. Como tal, é necessário perceber se valores de elasticidade de outras fibras, superiores às do pinho bravo português, serão igualmente vantajosos.



Nota: Caule do cânhamo - Eichhorn & Young, (2004), Placet (2009), Bodros et al. (2007) e Islam, Pickering, & Foreman (2011); Coco - Almeida et al. (2002); Casca de bamboo, Palmeira, Pseudocaule da bananeira e Sisal - Rao et al. (2005); Pinus pinaster - Pinto (2014).

Figura 2.4. Valores de resistência à tração.



Nota: Caule do cânhamo - Eichhorn & Young, (2004), Placet (2009), Bodros et al. (2007) e Islam, Pickering, & Foreman (2011); Coco - Almeida et al. (2002); Casca de bamboo, Palmeira, Pseudocaule da bananeira e Sisal - Rao et al. (2005); Pinus pinaster - Pinto (2014).

Figura 2.5. Valores de módulo de elasticidade em flexão.

2.4.2. Propriedades químicas

Quando comparadas com outras fibras de origem vegetal (Tabela 2.2), o pseudocaule da bananeira apresenta uma percentagem de celulose muito próxima do valor médio apresentado na Tabela 2.3. Este fator é relevante pelo fato da celulose ser o principal componente da madeira, responsável por conferir rigidez e firmeza às plantas, funcionando como substância esquelética. A celulose é o composto que confere a resistência à tração ao elemento de madeira (Carvalho, 1996). Face ao pinheiro bravo português é clara a

diferença entre as suas percentagens. Dados bibliográficos remetem para valores inferiores de celulose do *Pinus pinaster*.

A hemicelulose encontra-se intercalada com as microfibras da celulose conferindo elasticidade, formando - se através da mistura de açúcares resultante do processo de fotossíntese (Pfeil & Pfeil, 2003). Considerando novamente a Tabela 2.3, as fibras de bananeira apresentam um valor de hemicelulose abaixo da média e muito inferior ao *Pinus pinaster*.

Os valores de lenhina refletem os valores mais interessantes, uma vez que este constituinte tem como finalidade conferir rigidez, aglutinando a celulose e contribuindo para a integridade estrutural das fibras (Carvalho, 1996). Como demonstrado, na Tabela 2.3, o pseudocaule apresenta um valor abaixo da média, mas superior ao pinho bravo.

Tabela 2.2. Teores químicos de algumas fibras vegetais, adaptado de Pinheiro *et al.* (2015).

Origem	Fibras	Celulose [%]	Hemicelulose [%]	Lenhina [%]
Semente	Algodão	82,7 - 90	5,7	< 2
Fruto	Coco	32 – 43,8	0,15 – 20	40 – 45
	Juta	59 – 71,5	13,6 – 20,4	11,8 – 13
	Linho	62 – 72	18,6 – 20,6	2 – 5
Caule	Cânhamo	68 – 74,4	15 – 22,4	3,7 – 10
	Kenaf	31 – 72	20,3 – 21,5	8 – 19
	Bamboo	40 – 55	23 – 28	20 – 30,2
	Banana	63 – 67,6	18 – 19	5
Folha	Sisal	60 – 78	10 – 14,2	8 – 14
	Abacá	56 – 63	20 – 25	7 – 13

Tabela 2.3. Comparação das percentagens dos constituintes químicos do *Pinus pinaster* e do pseudocaule da bananeira, com valores médios de outras fibras de origem vegetal, adaptado de Batista (2006).

Constituinte químico/ Tipo de fibra	Pinus pinaster	Pseudocaule da bananeira	Média de valores das fibras de origem vegetal
Celulose [%]	45	65	66
Hemicelulose [%]	25	14	16
Lenhina [%]	3	5	8

2.5. Caracterização de painéis com base em cimento e resíduos vegetais

De modo a facilitar e a diferenciar a interpretação da análise bibliográfica de outros autores, criaram-se dois subcapítulos. O primeiro, foi direcionado para estudos de produção de painéis, que utilizassem como matéria-prima a madeira, enquanto que o segundo está relacionado com a viabilidade da utilização de fibras de origem vegetal para o fabrico de CBPB.

Painéis de partículas de madeira e cimento

Analizando trabalhos de outros autores, foi possível obter resultados de ensaios realizados para as caracterizações de CBPB. Em primeira análise, tem-se o trabalho de Latorraca (1996), que estuda a viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* no fabrico de painéis de madeira-cimento. O cimento utilizado na mistura foi Portland corrente, com um rácio em massa de 1:3 de madeira seca relativamente ao cimento. Nesta análise foram realizados vários ensaios ao compósito, recorrendo a vários tipos de tratamentos das fibras, optando-se por escolher os valores correspondentes às fibras sem tratamento, mas apenas com adição de cloreto de magnésio ($MgCl_2$) como acelerador de presa, que conduziu ao maior valor médio de resistência à flexão e módulo de elasticidade. Os resultados obtidos para o painel E apresentam - se na Tabela 2.4.

Ainda relativo às madeiras, Macêdo *et al.* (2012) recorreram a *Cedrela odorata* (cedro), da família dos cedros, e a *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), da família das fabáceas, para avaliar a utilização destes resíduos da indústria madeireira da região da Amazônia. Ao misturar com cimento Portland do tipo CP V-ARI PLUS, de elevada resistência inicial, favoreceram a redução do tempo de manipulação de pré-moldados, com um rácio em massa de 1:3 de madeira seca:cimento, idêntico ao estudo de Latorraca (1996). Os aditivos utilizados para a aceleração de presa foram o cloreto de cálcio ($CaCl_2$) e o sulfato de alumínio ($Al(OH)_3$). As características destes painéis, respetivamente C e J, apresentam-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Propriedades físicas e mecânicas de painéis compósitos com base em cimento e madeira.

Tipo de painel	MV [kg/m ³]	Inchamento [%]	TH [%]	Rc [MPa]	Rf [MPa]	Rt [MPa]	ME [GPa]	Referência
E	1160	3,73	-	5,28	4,64	0,08	4,32	Latorraca, 1996
C	1325	0,72	10,20	15,66	9,17	1,60	7,73	Macêdo <i>et al.</i> , 2012
J	1555	0,52	9,50	20,91	4,72	1,53	5,24	Macêdo <i>et al.</i> , 2012

Nota: MV – massa volúmica, Inchamento – inchamento em espessura, TH – teor de humidade, Rc – resistência à compressão, Rf – resistência à flexão, Rt – resistência à tração, ME – módulo de elasticidade em flexão; “-” significa que não foram realizados ensaios, para obtenção de resultados.

Analisando a normalização existente, verifica-se que os painéis de cimento-partículas, genericamente referidos como CBPB, têm os seus requisitos gerais definidos pela EN 634-1 (1995) e os requisitos para utilização em condições não só secas mas também húmidas e no exterior definidos pela EN 634-2 (2007). As placas com derivados de madeira têm os seus requisitos definidos na NP EN 13986+A1 (2004, 2018).

Painéis de fibras vegetais e cimento

Almeida *et al.* (2002) escolheram a casca de coco para produzir painéis compósitos com cimento. Utilizaram fibras de casca de coco com 1200 kg/m³ de massa volúmica, com um traço em massa de 1:2,75 de partículas de coco para cimento, sendo a massa volúmica do painel compósito final 1090 kg/m³. O cimento usado no fabrico destes painéis foi *Portland* do tipo II, com adição de cloreto de cálcio (CaCl₂). Aos painéis correspondentes a este estudo atribui-se a nomenclatura CO e as características apresentam-se na Tabela 2.5.

Dentro da enorme variedade de fibras que podem ser analisadas, a fibra de bamboo foi também tida em consideração na pesquisa bibliográfica deste trabalho. De nome científico, *Bambusa vulgaris*, é considerado o resíduo de maior crescimento natural e de maior rendimento como material construtivo para o ser humano (Ghavami, 2005). Sudin *et al.* (2006) produziram painéis compósito de partículas de bamboo e cimento. A análise inicial à quantidade de açúcar presente, obteve resultados de cerca de 5 % do peso do bamboo seco, sendo muito superior aos valores de 0,4% presentes nas madeiras usadas para o fabrico de CBPB (Schwarz, 1989). As partículas de bamboo utilizadas tinham dimensões de 20 mm x 20 mm x 2 mm, e foram misturadas com cimento Portland corrente e com adição de CaCl₂. A massa volúmica dos painéis produzidos foi de 1366 kg/m³, sendo o rácio em massa de 1:2,75 de partículas de bamboo para cimento. A nomenclatura atribuída a estes painéis foi B (Tabela 2.5).

Numa outra pesquisa, Mrema (2013) realizou um estudo acerca das propriedades de painéis compósitos, com base em cimento, combinando com resíduos da produção de arroz e reforçado com fibras de sisal. Para o seu fabrico, utilizou cimento Portland com calcário (CEM II/A-L/ 32.5R), com um rácio em massa de

1 : 3,3 de cascas de arroz para cimento e variando entre os 0 e os 0,8 %, nas percentagens de reforço, com fibra de sisal. O comprimento médio da casca de arroz utilizado foi de 9,45 mm, enquanto que das fibras de sisal foi de 4 – 5 cm. Os provetes foram produzidos em moldes com dimensões de 300 mm x 300 mm x 15 mm. A massa volúmica obtida para estas placas variou consoante a sua composição, sendo o valor médio de 1040 kg/m³. Para estes materiais optou-se pela atribuição da designação C&S0, para 0 % de presença de fibras de sisal, até C&S0,8 para a percentagem máxima de reforço, com a presença de 0,8 % (Tabela 2.5).

Tabela 2.5. Propriedades físicas e mecânicas de painéis compósitos com base em cimento e outras fibras de origem vegetal.

Tipo de painel	MV [kg/m ³]	Rf [MPa]	ME [GPa]	Inchamento [%]	TH [%]	Referência bibliográfica
CO	1090	3,80	1,82	-	-	Almeida <i>et al.</i> , 2002
B	1366	12,81	3,91	0,97	-	Sudin <i>et al.</i> , 2006
C&S0	1040	1,4	-	1,40	-	Mrema, 2013
C&S0,4	1040	2,4	-	1,10	-	
C&S0,5	1040	3,3	-	1,20	-	
C&S0,8	1040	4,1	-	1,00	-	

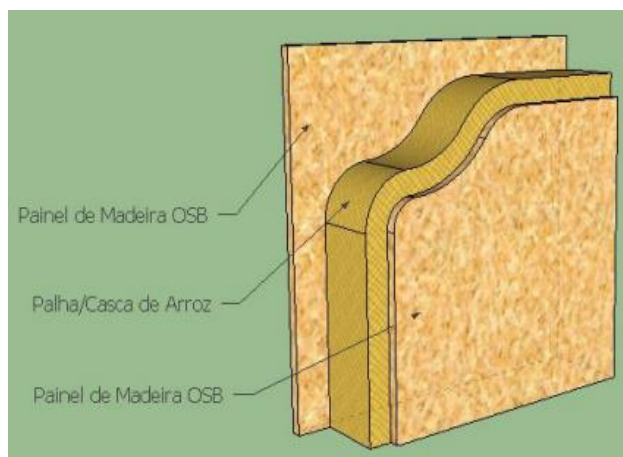
Nota: MV – massa volúmica, Inchamento – inchamento em espessura, TH – teor de humidade, Rf – resistência à flexão, ME – módulo de elasticidade em flexão; “-” significa que não foram realizados ensaios, para obtenção de resultados.

Através da análise dos estudos anteriores, verificou-se que, embora a procura por painéis com base em cimento e fibra vegetais seja crescente, o número de estudos científicos publicados é bastante reduzido.

Contudo, constatou-se que, ao longo das últimas décadas, houve um acréscimo no desenvolvimento de materiais sustentáveis a ser aplicados no setor da construção. Rama (2014), Cardoso (2014), Antunes *et al.* (2019) e Brás *et al.* (2019), são exemplos de autores que seguiram uma abordagem preventiva, visando a aplicação de novos materiais e produtos no desenvolvimento de soluções de construção mais sustentáveis.

Rama (2014) e Cardoso (2014) produziram, respetivamente, placas de palha misturada com casca de arroz (Figura 2.6 (a) e placas de carolo de milho, aglutinado com cola natural (Figura 2.6 (b)), com o objetivo de criarem novos produtos, com boas capacidades térmicas e acústicas. Antunes *et al.* (2019) utiliza a casca do arroz misturada com terra resultante de lavagem de areias (e ela própria um resíduo), estabilizado com gesso e cal, para o desenvolvimento de um bio-material de isolamento e revestimento (Figura 2.6 (c)) capaz de funcionar bem como isolamento térmico e também como regulador da humidade relativa interior.

(a)



(b)



(c)



Figura 2.6. Exemplos de materiais sustentáveis estudados por outros autores: (a) Esquema representativo do painel de palha e casca de arroz, adaptado de Rama (2014); (b) Aspetto do painel de carolo de milho, adaptado de Cardoso (2014); (c) Aspetto do painel de casca de arroz, adaptado de Antunes (2017).

3. Painéis da empresa VIROC

3.1. Contextualização e aplicações

Em Portugal, a empresa VIROC Portugal S.A., encontra-se localizada no distrito de Setúbal e pertence ao grupo *Investwood*. Fabrica e distribui painéis compósitos CBPB, destinando maioritariamente a sua exportação para países como a França, Moçambique, Angola e Reino Unido. Denominados comercialmente por painéis VIROC, são compostos basicamente por dois materiais: cimento e madeira. Distingue-se dos restantes derivados de madeira tradicionais pelo fato de não necessitarem da adição de resinas para garantir a sua coesão, uma vez que o cimento lhe confere essa união sob a aplicação de pressão. Podem ser produzidos na cor cinza do cimento Portland ou com cores mais escuras (através da adição de pigmento) ou mais claras, com cimento branco (e eventuais pigmentos).

Este material apresenta amplas propriedades que permitem aos seus utilizadores a sua aplicação em diversos cenários construtivos. Como prova da sua existência é aplicado em edifícios públicos e domésticos devido à sua resistência estrutural, ao impacto, ao fogo, leveza e estética. A escolha da sua aplicação é vasta, desde tetos (tetos falsos - Figura 3.1 (a)), pavimentos, construção de paredes/fachadas (exteriores e interiores – Figura 3.1 (b),(c)), barreiras sonoras ou até mesmo como cofragem perdida.



Figura 3.1. Exemplos de aplicação dos painéis VIROC: (a) teto; (b) parede interior; (c) fachada exterior

Como material compósito apresenta uma combinação de características que são obtidas pela mistura da madeira com o cimento - o cimento funciona como parte constituinte da resistência mecânica dos painéis, enquanto que a madeira permite um comportamento mais flexível da sua estrutura.

Neste capítulo descrevem-se as etapas e os equipamentos necessários para a produção dos painéis CBPB da VIROC e a logística de armazenamento dos materiais.

3.2. Tratamento e processo de corte das aparas de madeira

Nas instalações da fábrica existe uma zona de depósito a céu aberto onde se encontram dispostos troncos de madeira, neste caso *Pinus pinaster* (pinho bravo), proveniente do abate de árvores. Os troncos são submetidos a um processo de descasque Figura 3.2 (a), gerando-se assim os primeiros resíduos do processo fabril, Figura 3.2 (b), armazenando-se desta forma, o material obtido pelo descasque para posteriormente ser vendido. Contudo, a produção de resíduos continua ao longo do processo de fabrico. Este tema encontra-se devidamente abordado no capítulo seguinte. Numa fase seguinte, os toros já descascados são triturados obtendo-se assim as aparas, Figura 3.3.

Como descrito por Alvito *et al.* (2013), o fato de conter na sua génese componentes não estruturais da parede celular da madeira (compostos químicos como os taninos), não seria aconselhável o seu uso na produção dos painéis. Com efeito, a madeira é uma matéria-prima que contém alguns compostos prejudiciais à boa execução dos painéis VIROC, nomeadamente pela quantidade de açúcar e resina presente no pinho bravo português pelo que dificulta as boas condições de cura do cimento. Por conseguinte, são necessárias algumas semanas de depósito dos troncos de madeira para que as suas percentagens de açúcar desçam para valores abaixo dos 0,40%.

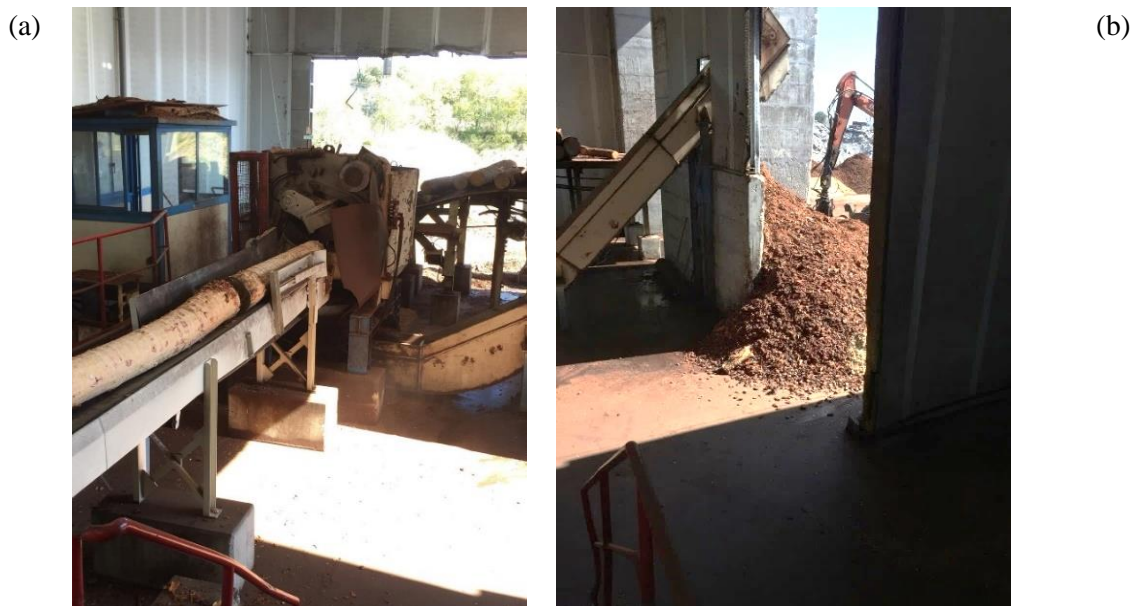


Figura 3.2. Zona de descasque dos troncos de madeira: (a) Passagem dos toros em máquina de remoção da casca; (b) Resíduos resultantes do descasque dos toros.



Figura 3.3. Aparas de madeira após trituração.

Após o descasque, Figura 3.4 (a) e trituração, as aparas são introduzidas em duas afinadoras para serem reduzidas (afinadas) até às dimensões desejadas, Figura 3.4 (b), sendo armazenadas em silos à posteriori.

O controlo das percentagens humidade e espessura são efetuados após a passagem pela destroçadora e pela afinadora. Para as aparas serem utilizadas, devem ser capazes de passar através dos peneiros de malha correspondente a 4 mm.



Figura 3.4. (a) Toros de madeira após descasque; (b) Aparas de madeira após passagem pela afinadora.

3.3. Processo de fabrico e composição do CBPB

A mistura dos vários componentes do CBPB é uma etapa bastante importante pois é nesta fase da produção que é feita a formulação dos materiais que vão dar origem ao produto final, respeitando os parâmetros de controlo de humidade.

De acordo com Faria *et al.* (2010), o processo é realizado pela seguinte ordem:

1. Pesagem das aparas finas e grossas;
2. Deposição das aparas na misturadora;
3. Introdução da água;
4. Adição de sulfato de alumínio e silicato de sódio;
5. Introdução do cimento *Portland* do tipo II (CEM II / A-L 42,5R).

Numa fase seguinte, a mistura dos vários componentes é disposta por camadas de aparas finas nas partes exteriores e por grossas no seu interior, obtendo-se deste modo o denominado “colchão”, Figura 3.5, que é prensado entre chapas metálicas separando-os fisicamente. A prensa responsável pela compactação do material, exerce uma força de 30 MPa (equivalente a 300 bar), Figura 3.6 (a), que se mantém assim durante todo o processo de cura/endurecimento. Estas placas são colocadas assim em fornos capazes de manter uma temperatura de cerca de 50°C a uma humidade relativa, HR, de 50 %, durante 10 horas. De seguida necessitam de ser armazenados durante 7 dias, para completarem o processo de hidratação, procedidos de uma fase de secagem onde a HR diminui para valores de 10 %.

Durante o processo de fabrico do VIROC, a mistura dos dois materiais é fortemente seca em câmaras que apresentam uma variação na velocidade do vento a diferentes alturas, resultando numa separação das partículas de madeira, comprimidas em uma prensa hidráulica adequada, criando um painel com uma combinação de propriedades particulares.

Numa fase final, os painéis passam por um processo de corte, Figura 3.6 (b) e controlo de qualidade. De acordo com a sua utilização futura, podem ser submetidos a diversos acabamentos, de maneira a cumprir com os requisitos dos clientes.



Figura 3.5. Mistura do aglomerado, antes do processo de prensagem: “colchão”.

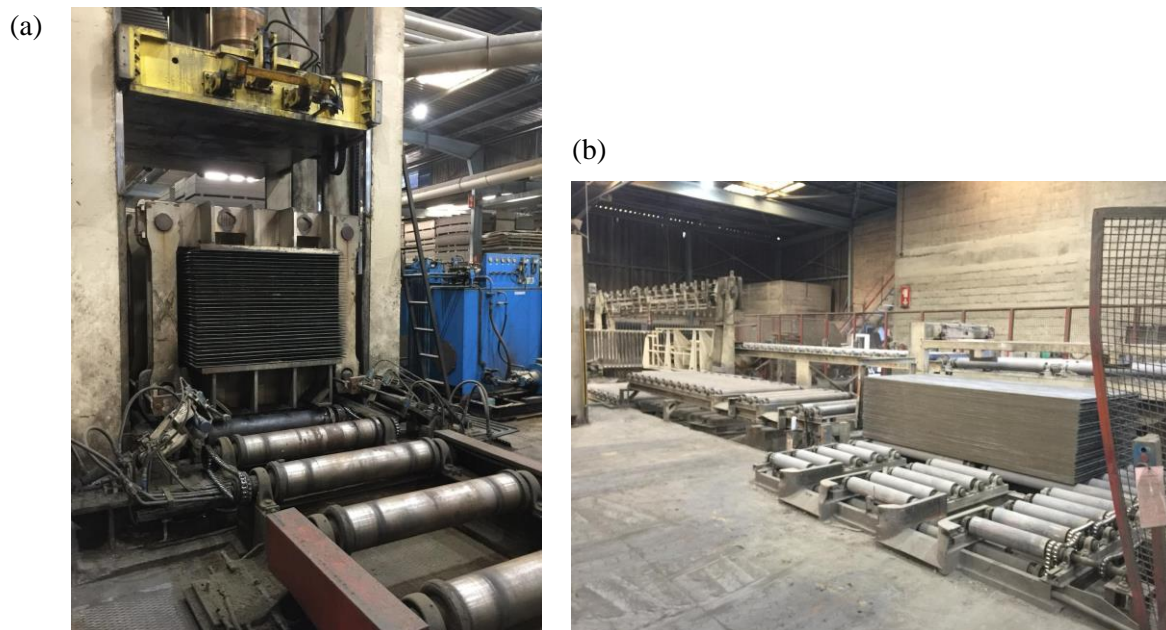


Figura 3.6. (a) Equipamento de prensagem do aglomerado; (b) Zona de corte das placas.

Estes painéis são maioritariamente compostos por cimento *Portland* (CEM II / A - L 42,5R) e madeira de pinho bravo português (*Pinus pinaster*). Além destes dois materiais juntam-se também a água e outros dois componentes não tóxicos: silicato de sódio (Na_2SiO_3) e o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO})_3$). As suas funções serão descritas no capítulo seguinte.

De seguida, demonstram-se as percentagens de cada composto, por unidade de peso (kg), do VIROC branco e cinza, Figura 3.7, e do VIROC das restantes cores, Figura 3.8.



Figura 3.7. Percentagem de cada composto, por unidade de massa (kg), de cor branca e cinza, adaptado de W2.



Figura 3.8. Percentagem de cada composto, por unidade de peso (kg), de restantes cores, adaptado de W2.

3.4. Caraterísticas dos painéis VIROC

Relativamente às suas características mecânicas, encontram-se descritos, na Tabela 3.1, todos os valores máximos ou intervalos que, segundo as normas de requisitos, devem ser respeitados.

Apresentam uma variada gama de cores, Figura 3.9 (a), respetivamente preto, vermelho, cinza, branco, ocre ou amarelo. As colorações mais claras são conferidas pelas características do cimento enquanto que, a mais escura advém da adição de pigmentos na formulação, Figura 3.9 (b). Utiliza-se cimento branco quando se pretende a pigmentação das placas com cores claras.

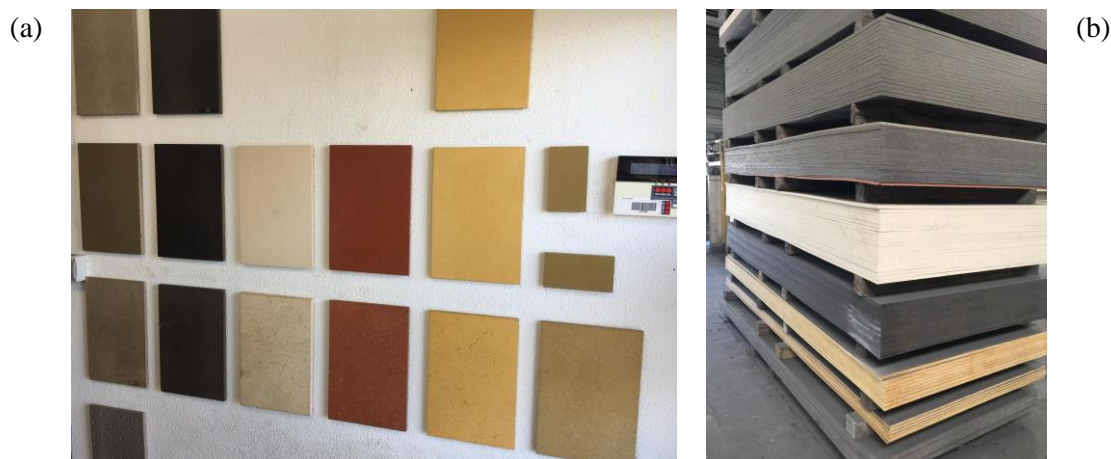


Figura 3.9. (a) Gama de cores exposta na fábrica da VIROC Portugal S.A.; (b) Painéis de cor clara e escura, em armazém na fábrica da VIROC Portugal S.A..

De acordo com a documentação técnica do fabricante (W2), as vantagens associadas a estes materiais são as seguintes:

- não tóxicos, que não contém compostos voláteis e são isentos de sílica, asbestos (amiantos) e formaldeído;
- com contributo para o isolamento acústico, devido à sua massa elevada comparativamente a outros materiais de revestimento;
- resistentes a cargas - possui resistência mecânica à flexão que possibilitam a sua utilização como elementos estruturais resistentes;
- fácil instalação, podendo ser cortados, furados e lixados;
- resistentes ao fogo, evitando a sua propagação;
- resistentes a insetos, pois não se degradam com a ação de organismos vivos como fungos, térmitas, ou qualquer tipo de insetos;
- contributo para o isolamento térmico, possuindo uma condutibilidade térmica não muito elevada;
- hidrófugos, pois não delaminam sob a ação da água.

Tabela 3.1. Valores máximos e intervalos, a serem respeitados pelos painéis VIROC quando do seu fabrico, adaptado de W2.

Caraterística	Unidade	Valor	Norma
Massa volúmica	kg/m ³	1350 ± 50	NP EN 323 (2002)
Inchamento (24 horas)	%	1,5	NP EN 317 (2002)
Teor de humidade na origem	%	9 - 12	NP EN 322 (2002)
Módulo de elasticidade em flexão	N/mm ²	4500	NP EN 310 (2002)
Resistência à tração	N/mm ²	0,50	NP EN 319 (2002)
Resistência à flexão	N/mm ²	9	NP EN 310 (2002)
Alcalinidade superficial	pH	11 – 13	-
Condutibilidade Térmica	W/m.°C	0,22	NP EN 12664 (2001)
Reação ao fogo	-	< 16 mm = 0,6 mm/min	DTU P 92-703 (1988)
		≥ 16 mm = 0,5 mm/min	
		B – s1, dO	EN 634-1 (1995)
		Classe O	EN 13501-1 (2018)
			BS 476: Part 7 (1997)

Os painéis VIROC são vendidos em formato retangular: em bruto, calibrado (lixado) ou recoberto por um primário. O acabamento bruto é mais destinado a zonas exteriores e o lixado a zonas interiores.

Estes painéis são comercializados com as seguintes dimensões:

- 2440 mm × 1250 mm (mais usual para exportação);
- 2600 mm × 1250 mm;
- 3000 mm × 1250 mm.

As espessuras propostas para estes produtos variam entre os 8 e os 32 mm, as quais têm valores mínimos a ser respeitados consoante a sua aplicação e tipo de acabamento escolhido. É compatível com a aplicação de diversos revestimentos decorativos e protetores, sendo a superfície lisa uma boa base para essa aplicação.

3.5. Circularidade da economia

A utilização de fibras de origem vegetal, resultantes de resíduos da agricultura, tem por fim a promoção do conceito de economia circular e de um ambiente sustentável, particularmente importante quando esses resíduos existem em grandes quantidades e não têm utilização. Por um lado, aumentando as possibilidades de utilização do resíduo, permite reduzir custos ambientais e financeiros relativos à gestão como resíduo. Por outro lado, pode substituir teores de matérias-primas, reintroduzindo o resíduo no ciclo produtivo.

No seguimento do estudo da literatura, relacionada com o tema da sustentabilidade aplicada ao setor da construção civil, houve a possibilidade de conceção e caracterização de um novo material de construção, neste caso um CBPB, produzido com inclusão de resíduo gerados pela indústria da produção de banana. Como referido na Introdução, o tema foi proposto pela FCT NOVA, à empresa VIROC Portugal S.A., e foi recebido com rápida aceitação.

Com o fabrico de painéis composto CBPB com substituição parcial de fibras de madeira de pinho por fibras de pseudocaule de bananeira, pretende-se atribuir uma nova utilidade aos resíduos da produção de banana, os quais passarão também a contribuir para a diminuição do uso da madeira (neste caso o pinho bravo), contribuindo para a circularidade da construção.

Na produção dos painéis VIROC são gerados resíduos desde uma fase inicial do processo de fabrico. O descasque dos toros de madeira traduz-se em grandes quantidades de casca da madeira que atualmente é vendida para produção de biomassa, jardinagem e produção de *pellets* de madeira - dado que a grande parte da sua produção, em Portugal, é obtida através da serradura do pinheiro (Silva *et al.*, 2017). Durante a trituração para a obtenção das aparas de madeira, outras grandes quantidades de resíduos são criadas, acumulando-se na periferia das máquinas que realizam este tipo de trabalho, Figura 3.10 (a). No entanto, o maior volume de resíduos e desperdícios é gerado após o fabrico dos próprios painéis, que não cumprem os requisitos de controlo e, conseqüentemente, não podem ser comercializados, sendo neste caso classificados como “não conformes”, ou de cortes de placas. Estes resíduos são depositados nas imediações da fábrica para serem recolhidos por outras empresas, o que gera custos acrescidos à empresa, Figura 3.10 (b).

Para além destes, são ainda gerados resíduos granulares da mistura madeira-cimento, Figura 3.11, antes de ser comprimida para a produção das placas. Este último ocorre quando as misturas existentes nos silos de armazenamento aí permanecem por um tempo alargado, como é o caso da paragem da produção durante os fins de semana. Outra situação que pode ocorrer é a mudança da composição da mistura, quer seja por equívoco da equipa de produção ou simplesmente porque, por exemplo, a pigmentação é alterada.



Figura 3.10. (a) Resíduos provenientes das aparas de madeira fora da gama a utilizar; (b) Depósito de resíduos: aparas de madeira de grandes dimensões, casca e, ao fundo, pedaços e misturas de painéis VIROC “não conformes”.



Figura 3.11. Amostras de misturas não conformes extraídas do depósito de resíduos da fábrica.

4. Materiais, provetes e amostras

Neste capítulo são abordados os materiais utilizados para a realização dos provetes de painéis, bem como os procedimentos e os equipamentos utilizados no seu fabrico. Todos os materiais foram disponibilizados pela VIROC, à exceção das fibras de caule de bananeira. Toda a atividade de produção dos provetes teve lugar nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, à exceção dos cortes dos provetes que foram realizados nas instalações da VIROC.

4.1. Fibras de pseudocaule da bananeira

As amostras de pseudocaule da bananeira utilizadas neste trabalho são provenientes da ilha da Madeira, recolhidas por um produtor local, no município da Ribeira Brava.

Para aplicação nos painéis compósitos, secou-se toda a matéria-prima, para à posteriori serem reduzidas as dimensões naturais das fibras, com recurso a um moinho de lâminas Retsch SK 100 (Figura 4.1 (a)), até atingirem as dimensões pretendidas, Figura 4.1 (b). A moagem foi fácil e realizada de forma rápida, porém, numa fase inicial foram necessários cortes manuais da matéria, com dimensões de 10 mm x 10 mm, para que o equipamento as conseguisse triturar, Figura 4.2.



Figura 4.1. (a) Moinho de lâminas e respetivo interior do equipamento; (b) Aspeto das fibras de pseudocaule da bananeira moídas



Figura 4.2. Corte manual das fibras.

4.2. Aparas de pinho bravo português

Para o fabrico dos painéis CBPB, as aparas de pinho bravo utilizadas foram fornecidas pela empresa VIROC, devidamente aparadas nas suas máquinas. Por questões relacionadas com a oxidação destas fibras, os provetes tiveram de ser efetuados num intervalo de tempo de 48 horas, a partir do momento em que foram recolhidas da fábrica.

4.3. Resíduos da mistura madeira-cimento

Foram extraídas amostras de resíduos constituídas pela junção dos componentes da mistura do compósito, Figura 4.3, antes do processo de prensagem, que são depositadas em terreno adjacente à fábrica, junto a placas não conformes e a cortes de placas.

Será apresentado mais à frente, um estudo granulométrico dos resíduos recolhidos nas imediações da fábrica, de modo a ser útil para, no futuro, se analisar a viabilidade de reutilização deste resíduo no processo de fabrico de placas ou de outros materiais, por esta empresa ou por outra. Nesta fase, contudo, apenas foi feita uma comparação entre as análises granulométricas dos resíduos fabris, das aparas de pinho e das fibras de bananeira para avaliar a granulometria presente na mistura e detetar a viabilidade da utilização do material mais grosseiro na linha de produção. A viabilidade do uso do material mais fino presente na mistura dos resíduos recolhidos na fábrica não será estudada nesta dissertação pois requeria uma pesquisa paralela mais aprofundada, que poderá ser objeto de uma outra dissertação.

4.4. Sulfato de alumínio e silicato de sódio

Para uma correta reprodução dos painéis foi necessária a utilização de dois compostos químicos utilizados na produção dos CBPB na fábrica. A escolha dos adjuvantes é fundamental para a obtenção de compósitos de melhor qualidade, de forma a maximizar a compatibilidade entre o cimento e a madeira. Como tal, a empresa optou pela utilização de sulfato de alumínio e de silicato de sódio na sua mistura.

O sulfato de alumínio tem como principal função desfibrar as partículas de madeira e atuar como acelerador de presa, apresentando melhores resultados comparativamente a aditivos à base de cloreto para algumas espécies de madeira, tais como o *Pinus pinaster*. Para além disso, a sua forma de atuação similar à dos cloretos, aumenta a resistência à compressão do compósito (Matoski, 2005).

No caso do silicato de sódio, este é utilizado na indústria do cimento para várias aplicações, tais como: redutor de humidade no processo de produção do clínquer, ativador de cimento de escória, acelerador de presa no betão projetado, aditivo protetor de fibras vegetais em compósitos de cimento e sistema de proteção de superfície do betão. Contudo, a mais-valia deste químico na mistura é a redução do tempo de presa dado que este produto, quando diluído em água, atua como catalisador na presa do cimento e mineralizador das fibras da madeira, permitindo uma maior interação com o cimento (Medeiros *et al.*, 2012).

Como referido anteriormente, não se encontraram registos de estudos ou de tentativas de produção de painéis compósitos de cimento com junção das fibras de pseudocaule de bananeira. Assim, neste trabalho, o método de fabrico dos provetes teve em conta o processo adotado pela VIROC. Na produção dos provetes, tentou-se replicar a produção dos painéis utilizando o máximo possível as técnicas adotadas nas atividades fabris da VIROC. Como tal, alguns procedimentos e valores adotados não serão expostos na presente dissertação de modo a respeitar o sigilo agregado às técnicas de produção dos painéis, solicitado pela empresa. É importante referir que o processo de produção inicialmente necessitou de um estudo exaustivo acerca dos materiais a serem utilizados, de modo a otimizar as quantidades de matéria prima.

4.5. Processo de fabrico dos painéis

Deu-se início ao processo de produção dos provetes pela peneiração e separação das aparas de madeira e de bananeira em resíduos de dimensões superiores e inferiores a 1 mm. Os painéis possuem uma distinção na deposição dos agregados que varia ao longo da sua espessura. A Figura 4.3 ilustra um corte transversal de uma amostra fornecida pela VIROC, que demonstra a diferente disposição granulométrica. Nas suas superfícies superior e inferior é possível constatar a presença das partículas de menor dimensão (< 1 mm), aumentado as suas dimensões no sentido das faces para o seu interior, sendo este composto por dimensões aleatórias.

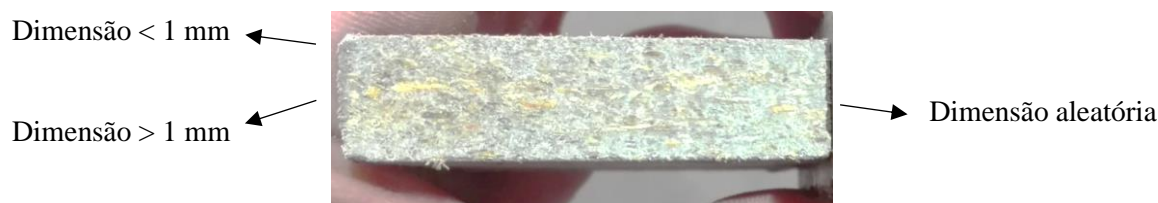


Figura 4.3. Corte transversal de uma amostra de painel VIROC.

O passo seguinte consistiu na mistura, cujas quantidades foram todas controladas e calculadas tendo em consideração as proporções definidas pela VIROC. Definiram-se as quantidades de cada material a usar na produção de cada provete, relacionando o volume de cada um, a uma massa (kg). Ficou estabelecida a

produção de quatro painéis de dimensões 400 mm x 300 mm e outros quatro de 300 mm x 300 mm, tendo em conta a dimensão e o número de provetes necessários para realizar todos os ensaios.

Posto isto, para os provetes de maiores dimensões estabeleceu-se que seria necessária uma determinada quantidade de material, quantificada em massa, obviamente diferente para os de menores dimensões. Estes valores não puderam ser expostos, mais uma vez por questões de sigilo. As misturas foram feitas em baldes distintos, para melhor organização, tendo em consideração as diferentes granulometrias a utilizar em cada camada. Para uma mistura mais homogênea possível recorreu-se a um berbequim para amassadura de argamassa Figura 4.4 (a) durante 3 minutos, com uma mistura final manual, Figura 4.4 (b), cujo resultado pode ser observado na Figura 4.4 (c). A sequência do material por camadas e o aspeto do provete antes de ser prensado encontra-se ilustrada na Figura 4.5.

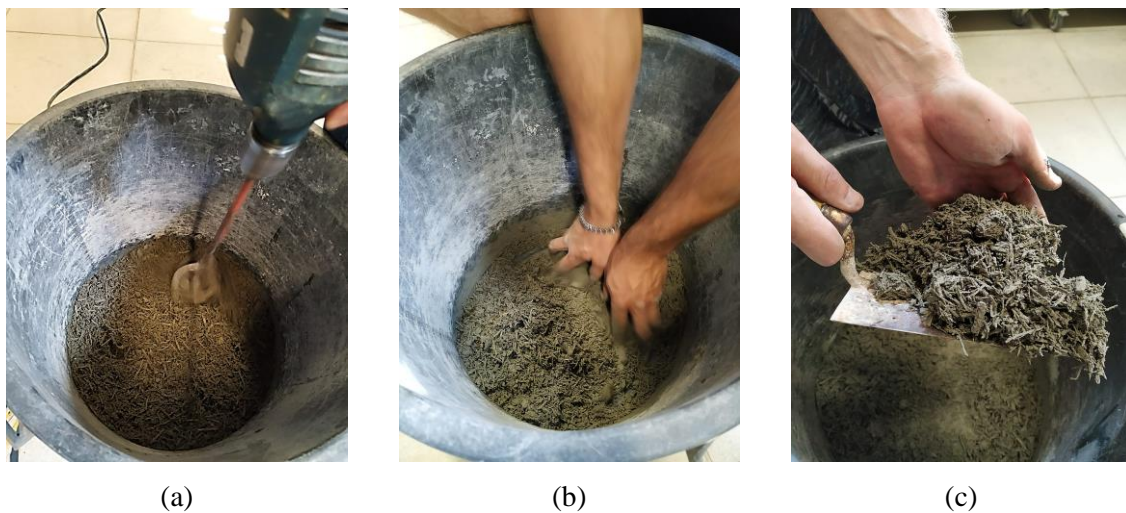


Figura 4.4. (a) Mistura com berbequim de argamassa; (b) Mistura manual; (c) Aspeto da mistura final.

Para realizar os provetes com as dimensões atrás referidas foram necessárias placas de metal, com as dimensões dos respetivos provetes e com uma espessura de 4 mm, que foram também disponibilizadas pela VIROC. Além das placas foram necessários ainda doze perfis de aço para que, após a prensagem dos provetes, fosse possível a sua fixação. Seguidamente, os provetes entre as placas foram colocados numa estufa a 50 °C, com 50 % de HR, durante 10 horas.



Figura 4.5. Sequência de deposição do material por camadas e aspeto final dos provetes antes da prensagem.

Na Figura 4.6 encontra-se o esquema adotado para prensar os provetes e a respetiva fixação, de maneira a existir uma força de compressão durante a primeira etapa da cura.



Figura 4.6. Sobreposição dos “colchões” e respetivas fixações para prensagem.

A Figura 4.7 ilustra um esquema bastante similar ao adotado, de prensagem e grampeamento dos provetes, utilizado por Latorraca (1996) para o fabrico de painéis madeira-cimento, utilizando a espécie *Eucalyptus dunnii* como alternativa.

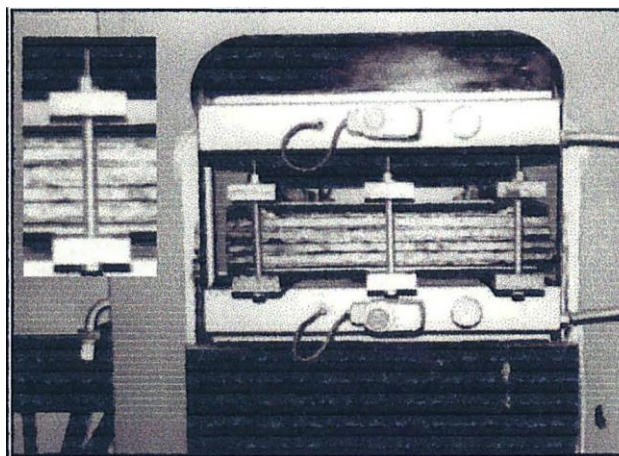


Figura 4.7. Técnica de prensagem e grampeamento utilizado por Latorraca (1996).

O equipamento utilizado para a cura dos provetes foi uma câmara climática Aralab Fitoclima modelo 300, Figura 4.8 (a), e para a prensagem dos provetes foi utilizada uma prensa da Form Test Prüfsysteme, modelo D - 8499, Figura 4.8 (b).

(a)



(b)



Figura 4.8. (a) Câmara climática; (b) Prensa utilizada para o fabrico dos painéis.

A força aplicada para a produção dos provetes foi de 2226 kN, uma vez que, foi a força máxima que se conseguiu aplicar nos perfis e placas de aço, que acabaram por dobrar excedendo a sua resistência de flexão e compressão, Figura 4.9.



Figura 4.9. Deformação dos perfis de aço após a força aplicada na prensagem dos provetes.

Após o primeiro processo de cura, os provetes foram removidos dos moldes e armazenados numa sala com um ambiente relativamente constante de 23 °C e 45 % de HR, durante 7 dias. Este foi o tempo necessário de cura dos provetes até à nova colocação na câmara climática a 70 °C, com 45 % de HR, durante 10 horas. Antes da última colocação dos provetes na câmara climática, estes foram ensaiados à condutibilidade térmica. Este ensaio foi utilizado para, de forma indireta, avaliar a homogeneidade das amostras de placas produzidas.

Terminando assim todos os processos relativos a questões de cura dos provetes, foi necessário efetuar cortes nas placas produzidas para as dimensões estabelecidas pelas normas de ensaio e requisitos, para realização de ensaios de caracterização. A Figura 4.10 (a) e (b) ilustra as dimensões das placas após a prensagem e a cura, ainda sem nenhum processo de corte.

Como referido na introdução deste capítulo, os cortes necessários para a produção das amostras a partir dos provetes de painéis, respeitando a norma EN 326-1 (2002), foram realizadas nas instalações da VIROC, recorrendo ao mesmo equipamento de corte dos painéis VIROC. O processo e máquina de corte encontra-se ilustrado na Figura 4.11.

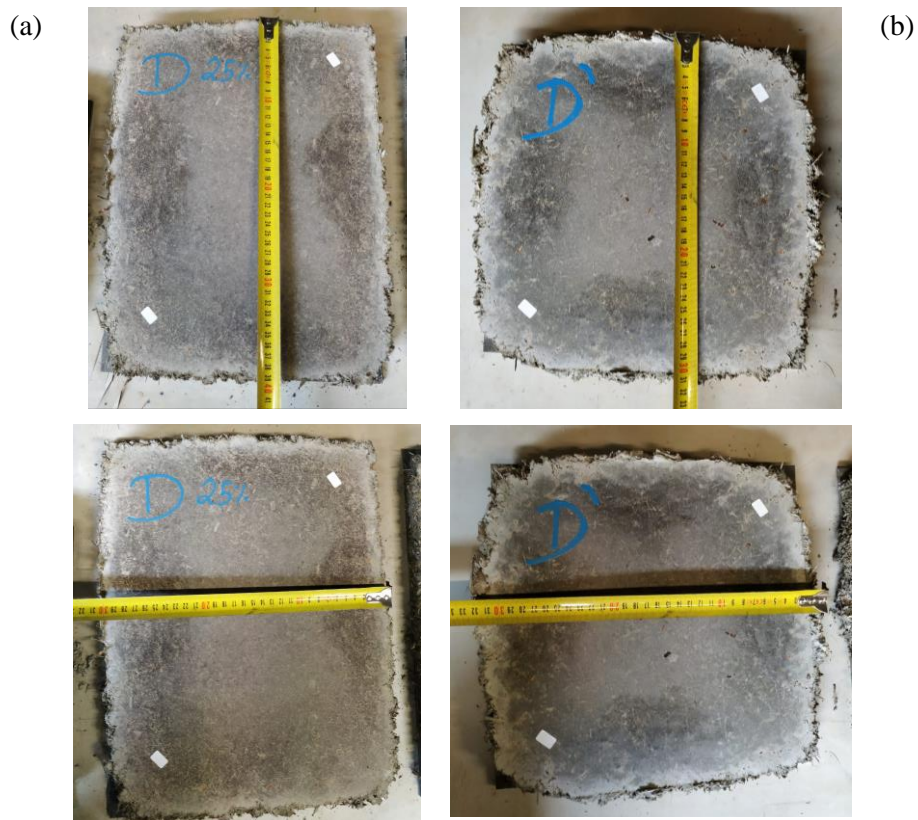


Figura 4.10. (a) Provete de dimensões $\pm 400 \times 300$ mm; (b) Provete de dimensões $\pm 300 \times 300$ mm.



Figura 4.11. Equipamento de cortes dos painéis VIROC utilizado para o corte das placas.

Na Tabela 4.1, são descritas as nomenclaturas dos painéis consoante a sua composição. Os provetes B e B' diferenciam-se pela sua composição e geometria.

Tabela 4.1. Nomenclatura dos provetes consoante a sua composição.

Nome do provete	Composição do provete	Geometria do provete [mm]
B0	100 % pinho bravo com adição de 0 % de fibra de bananeira	400 x 300
B25	75 % pinho bravo com adição de 25 % de fibra de bananeira	
B50	50 % pinho bravo com adição de 50 % de fibra de bananeira	
B75	25 % pinho bravo com adição de 75 % de fibra de bananeira	
B'0	100 % pinho bravo com adição de 0 % de fibra de bananeira	300 x 300
B'25	75 % pinho bravo com adição de 25 % de fibra de bananeira	
B'50	50 % pinho bravo com adição de 50 % de fibra de bananeira	
B'75	25 % pinho bravo com adição de 75 % de fibra de bananeira	

Foram assim reduzidas as placas iniciais para provetes com dimensões distintas, Figura 4.12, tendo em conta que, para efetuar os ensaios pretendidos, foram necessários provetes com dois tipos de geometria. As placas com 400 mm x 300 mm foram cortadas em tiras com 300 mm x 50 mm, enquanto que as placas com 300 mm x 300 mm cortaram-se em provetes com 50 mm x 50 mm de área.

Este processo justificou-se pelo fato das normas requererem um número mínimo de provetes para ensaios, que se encontra tabelado em Tabela 4.2, face ao número de provetes que se conseguiu produzir para ensaiar.

No entanto, devido a alguns problemas durante o corte das placas, alguns dos provetes foram danificados, não sendo possível cumprir com o número mínimo de provetes a ser ensaiados.

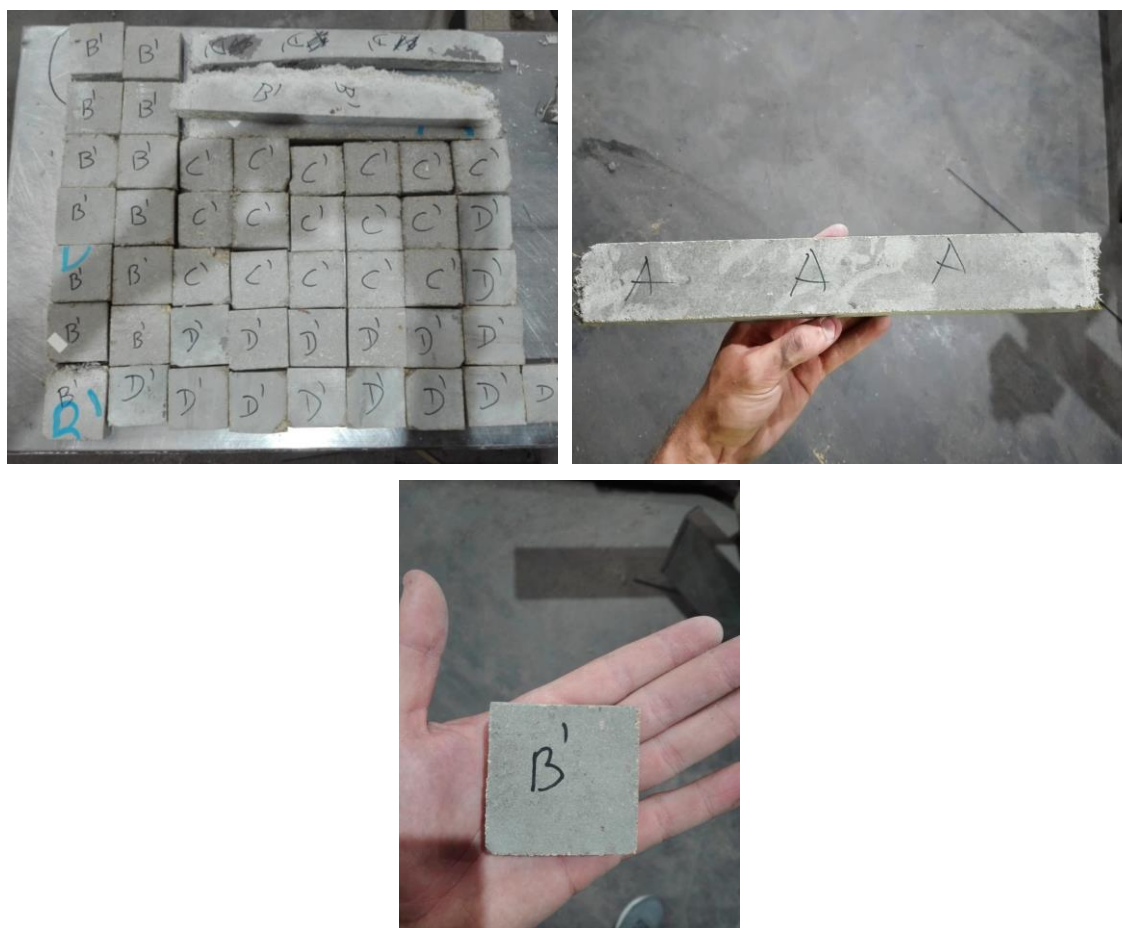


Figura 4.12. Geometria das amostras após corte dos provetes.

Tabela 4.2. Número de provetes definidos nas normas de ensaio e ensaiados.

Ensaio	Norma(s)	Nº mínimo de provetes definidos	Nº de provetes ensaiados
Massa volúmica	NP EN 323 (2002)	6	8
Determinação do teor de humidade	NP EN 322 (2002)	4	4
Determinação da resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão	NP EN 310 (2002)	6	4
Determinação da resistência à tração, perpendicular às faces	NP EN 319 (2002)	6	4
Determinação o inchamento em espessura após imersão em água	NP EN 317 (2002)	8	4
Determinação da resistência à tração e do inchamento em espessura através de ensaios cíclicos	NP EN 317 (2002), NP EN 319 (2002), NP EN 321 (2010)	8	4

5. Procedimentos de ensaio

Os ensaios de caracterização experimental decorreram maioritariamente nos laboratórios da VIROC Portugal S.A., à exceção da análise granulométrica e do ensaio de condutibilidade térmica que tiveram lugar nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, e da análise de açúcar, que decorreram nos laboratórios do Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa também da FCT NOVA.

Neste capítulo é descrita a planificação da campanha experimental, as normas pelas quais todo o trabalho se regeu e os equipamentos utilizados.

5.1. Caracterização dos materiais

5.1.1. Quantidade de açúcar presente na fibra do pseudocaule da bananeira

A etapa experimental teve início com uma análise das fibras do pseudocaule da bananeira para a determinação dos níveis de açúcar. Como explicado previamente, a presença de açúcares prejudica o correto fabrico dos painéis com cimento, de maneira que foi necessário analisar a viabilidade do uso das fibras de bananeira, precavendo eventuais problemas durante e após a fase de produção dos provetes.

De acordo com informações técnicas da VIROC, a percentagem máxima de açúcar que pode estar presente no pinho bravo é de 0,4%. Assim, antes e após um tratamento prévio que consistiu numa lavagem manual das fibras de bananeira, Figura 5.1, durante 15 minutos, avaliou-se a diminuição dos níveis de açúcar sem e após o tratamento.

Segundo o protocolo relativo a este ensaio, fornecido pela VIROC, realizou-se uma homogeneização das fibras, colocando-as de seguida em estufa a uma temperatura de 100 ± 5 °C, durante 2 horas. Após a secagem procedeu-se à recolha de uma amostra de 5 g de fibra “lavada” e outras 5 g de fibra “não lavada”, para dois copos. Seguiu-se um processo de fervura e decantação da solução, filtrando a água das lavagens das fibras e introduzindo-as em balões de 200 ml. Deixou-se arrefecer a uma temperatura ambiente.

Quando arrefecida a solução, adicionou-se água destilada aos balões até se atingir a marca de 200 ml, agitando-se a solução para a homogeneização da mesma.

Adicionou-se 25 ml de solução de Müller e levou-se a banho-maria previamente fervente durante 10 minutos exatos. Passado este tempo arrefeceu-se o erlenmeyer, com a solução, rapidamente em água fria. Foi acrescentado ácido acético 5N (286 ml de ácido acético para um balão de 1l com água destilada fria) às soluções até não existir libertação de carbonatos. Acresceu-se de seguida 25 ml de iodo 0,01N. Por fim, titularam-se as soluções na presença de indicador de cozimento de amido com hipossulfito de sódio 0,01N até se obter a cor azul persistente.

Este último passo é acompanhado com ensaio em branco onde em vez da solução se utiliza água destilada.

Os cálculos efetuados encontram-se nas Equações 5.1. e 5.2.

$$\text{Açúcar} = \frac{(B - A) * 0,3 * 100}{\text{quantidade de amostra em g}} [\%] \quad \text{Equação 5.1}$$

Em que, B corresponde ao hipossulfito gasto no ensaio em branco, A ao gasto no ensaio da solução e 0,3 onde 1 ml de Iodo 0,01N corresponde a 0,3 mg de açúcar invertido para 25 ml de solução de ensaio.

$$\text{Quantidade de amostra} = \frac{\text{peso inicial da amostra} * 25 \text{ ml}}{200 \text{ ml}} * 100 [\text{g}] \quad \text{Equação 5.2}$$

No caso da amostragem realizada no parque de madeiras, se esta percentagem for superior a 0,4%, a madeira não deverá ser utilizada, devendo-se aguardar cerca de 3 dias, após os quais será realizado um novo ensaio, e assim sucessivamente até se atingir um valor dentro da gama aceitável.



Figura 5.1. Processo de lavagem das fibras de bananeira

5.1.2. Análise granulométrica

Para determinar a distribuição de tamanho da partícula e a curva granulométrica de cada fibra, foram selecionadas várias amostras representativas de cada material. O processo consistiu em agitar a amostra através de um conjunto definido de peneiros com diferentes aberturas. Os peneiros utilizados e as respetivas aberturas estão definidas no capítulo 6.

O ensaio durou 15 minutos e foi realizado mecanicamente com um equipamento, da marca SOILTEST modelo CL-394B; foram pesadas as quantidades retidas em cada peneiro, conduzindo assim às curvas granulométricas, que se encontram definidas no capítulo 6.

Esquartelamento da amostragem

De maneira a obter resultados mais precisos na realização do traçado das curvas granulométricas, procedeu-se inicialmente ao esquartelamento da amostra, Figura 5.2 (a), visando a separação dos resíduos em quatro partes iguais, considerando-se assim um peso inicial de 370 (± 1) g, Figura 5.2 (b). No final do ensaio, dispôs-se todo o material retido em cada peneiro num tabuleiro, em separado, para uma análise visual expedita acerca das diferentes granulometrias presentes na mistura do compósito. A figura 5.2 (c) ilustra a situação.



Figura 5.2. (a) Processo de esquarteamento dos resíduos; (b) Pesagem da amostra inicial dos resíduos; (c) Disposição granulométrica do resíduo.

Fibra de pseudocaule da bananeira

Realizou-se o ensaio com uma amostra inicial de 300 g deste material, cujos resultados se encontram disponíveis no capítulo 6.

Aparas de pinho bravo português

Outro ensaio foi realizado, com uma amostra inicial de 300 g deste material, cujos resultados se encontram disponíveis no capítulo 6.

Resíduos provenientes da produção fabril

Para determinar a distribuição de tamanho da partícula e a curva granulométrica do resíduo proveniente da fábrica, foi selecionada uma amostra representativa com 370 g. Os resultados encontram-se disponíveis no capítulo 6.

5.1.3. Baridade das fibras

A baridade das fibras de pinho bravo e de pseudocaule da bananeira foi determinada com recurso à norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002), referente a agregados. Esta característica é calculada a partir da massa seca das partículas que preenchem um recipiente de capacidade conhecida.

Para a obtenção dos valores de baridade das fibras, iniciou-se pela secagem das fibras em estufa. Posteriormente, foi preenchido um recipiente com volume conhecido de 0,749 dm³, com recurso a um funil, colocado 5 cm acima do recipiente. Foi totalmente preenchido, nivelado e depois pesado; este processo foi repetido três vezes.

5.2. Caracterização de amostras dos painéis

5.2.1. Condutibilidade térmica dos painéis

Posteriormente ao fabrico dos provetes, o ensaio de condutibilidade térmica foi o primeiro ensaio a ser feito pelo fato dos painéis não estarem cortados e possuírem ainda as dimensões originais. Os ensaios abrangeram-se assim a todos os painéis produzidos.

O objetivo do ensaio de condutibilidade térmica é a determinação do coeficiente λ [W/(m.K)] de um material homogéneo. Este traduz a capacidade do material de conduzir calor, isto é, a quantidade de calor que passa através de uma espessura unitária do material. No caso de um material com boas capacidades de condução de calor, o valor do seu coeficiente será elevado. Por outro lado, um coeficiente de baixa condutibilidade térmica significa que o material é um bom isolante térmico, uma vez que não conduz tão rapidamente o calor (Henriques, 2007).

De acordo com os resultados da Comissão Técnica da RILEM TC 236-BBM (Amziane *et al.*, 2017) para a determinação da condutibilidade térmica, a amostra necessita de secar até que a massa se torne constante, para que depois possa ser medida. Isto porque, principalmente, a condutibilidade térmica de biomateriais varia bastante com o teor de humidade. O equipamento utilizado para este ensaio foi o ISOMET 2104 Heat Transfer Analyzer e uma sonda de contacto com 600 mm de diâmetro, Figura 5.3. Foi utilizada a sonda para valores de 0.3 - 0.6 W/(m.°C) uma vez que, após as primeiras medições se confirmou que os resultados se encontravam neste intervalo.

Os provetes foram previamente armazenados a uma temperatura de 23 °C com uma HR de 45 %, durante cerca de uma semana, conduzindo desta forma a um equilíbrio nas suas massas. Os provetes foram colocados sobre painel de aglomerado de cortiça de 4 cm para isolar da base. De seguida, foi colocada a sonda de contacto no ponto de medição.



Figura 5.3. Equipamento utilizado para a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica.

Por todo o processo de produção ter sido manual surgia a hipótese de não haver uma homogeneidade na constituição dos materiais. Como tal, decidiu-se analisar a condutibilidade térmica em 5 zonas, como esquematizado na Figura 5.4, de maneira a abranger um número de pontos razoáveis para se poder obter uma média de dados que fosse representativa de toda a superfície e aferir a homogeneidade, ao longo de cada provete de placa, em laboratório com temperatura de 23 °C e 45 % de HR. De notar que, foi tido em conta uma distância desde as extremidades até ao ponto de aplicação da sonda para evitar que os valores fossem influenciados por bordos não homogêneos. O ensaio realizou-se em todas as placas.

Na Figura 5.4, atribuiu-se a nomenclatura “LT” às zonas laterais dos painéis ensaiadas, e “CN” às zonas centrais.

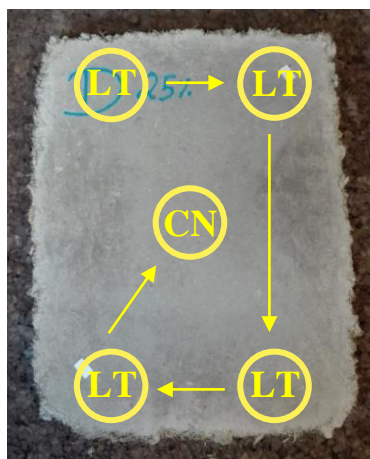


Figura 5.4. Esquema das zonas de medição para o ensaio de condutibilidade térmica numa placa.

5.2.2. Massa volúmica

Para a determinação da massa volúmica das amostras recorreu-se à norma NP EN 323 (2002). Esta prevê que os resultados obtidos neste ensaio estejam em conformidade com a EN 326-1 (2002). Respeitando assim os requisitos do documento, as amostras usadas eram quadradas com lado de 50 mm nominais e uma espessura correspondente à dos painéis originais. Os únicos equipamentos requeridos para este processo

foram uma craveira e balança digitais, para determinar a massa e o volume de cada provete e obter o seu quociente. Foram analisados cada provete da espécie B'0, B'25, B'50 e B'75.

5.2.3. Teor de humidade

Este é um parâmetro essencial de ser avaliado, uma vez que a humidade pode afetar a processabilidade, vida útil, usabilidade e qualidade de um produto. De acordo com a NP EN 322 (2002), para o ensaio de determinação do teor de humidade foram necessárias 4 amostras de cada espécie B'0, B'25, B'50 e B'75. As suas dimensões e forma não foram relevantes, apenas deviam ter uma massa mínima inicial de 20 g. O procedimento tinha como ponto de partida uma pesagem inicial de todos os provetes, antes de um processo de secagem. A secagem consistiu na colocação das amostras numa estufa com circulação de ar, regulável a 103 ± 2 °C, até massa constante. Considerou-se massa constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efetuadas com pelo menos 6 horas de intervalo, não diferissem mais de 0,1 % em relação à massa do provete. Após a secagem e arrefecimento dos provetes no exsiccador, a uma temperatura ambiente, pesou-se cada provete com alguma rapidez para evitar uma retoma de humidade superior a 0,1 %. Para o cálculo do teor de água de cada provete, em percentagem mássica, recorreu-se à equação 5.3.

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} * 100 [\%] \quad \text{Equação 5.3}$$

Nesta equação, m_H [g] é a massa inicial do provete e m_0 [g] é a massa do provete após secagem.

5.2.4. Espessura, resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão

A determinação da espessura dos provetes imediatamente antes dos ensaios mecânicos foi realizada com recurso a uma craveira digital.

O ensaio de resistência à flexão foi realizado com base na norma NP EN 310 (2002), recorrendo a um equipamento da marca Zwick modelo Roell ZO10 com célula de carga de 10 kN, Figura 5.5. O ensaio foi realizado nos provetes B0, B25, B50 e B75 após os cortes, 3 dias após o último processo de cura na câmara climática.

A velocidade do ensaio foi de 5 mm/min, com uma distância entre suportes de 290 mm. As dimensões das amostras eram de 400 mm x 50 mm, com espessuras variáveis devido a defeitos decorrentes do seu fabrico, com 21 mm de valor médio. Foram ensaiadas quatro amostras de cada espécie.

A resistência à flexão de cada provete [MPa] foi determinada através da Equação 5.4.

$$\sigma_b = \frac{3}{2} * \frac{F_{m\acute{a}x} * L}{b * h^2} [\text{MPa}] \quad \text{Equação 5.4}$$

Nesta equação, $F_{m\acute{a}x}$ [N] é a carga de rutura, L [mm] é a distância entre os suportes, b [mm] é a altura da seção e h [mm] a largura da seção.

Relativamente ao módulo de elasticidade em flexão, este valor representa a resposta do material durante o ensaio de flexão medindo-se a flecha (deslocamento) a meio-vão, ou seja, a meia distância entre os suportes.

Obtiveram-se assim curvas de força-deformação a partir das quais se obtiveram os valores de módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade em flexão E_m [MPa] foi obtido pela Equação 5.5.

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \text{ [MPa]} \quad \text{Equação 5.5}$$

Nesta equação, l_1 [mm] é a distância entre os centros dos apoios, b [mm] é a largura do provete, t [mm] é a espessura do provete, $F_2 - F_1$ [N] é o incremento de força na seção reta da curva força-deformação e $a_2 - a_1$ é o incremento da flecha a meio-comprimento do provete (correspondente a $F_2 - F_1$).



(b)

Figura 5.5. Ensaio à flexão de provete prismático no equipamento Zwick Roell ZO10

5.2.5. Resistência à tração perpendicular às faces da placa

Através da norma NP EN 319 (2002), serve este ensaio para determinar a resistência à tração perpendicular às faces da placa, em inglês denominado *internal bond*, relativo a aglomerado de partículas, aglomerado de fibras e aglomerado de partículas ligadas por cimento.

Neste ensaio foi utilizada a mesma máquina de tração, descrita no ensaio anterior (Zwick Roell modelo ZO10), submetendo 4 amostras de cada espécie (B'0, B'25, B'50 e B'75) a uma solicitação de tração uniforme repartida até à rotura. Deu-se início ao processo pela identificação de cada amostra seguido da colagem de suportes metálicos compatíveis com o dispositivo de ensaio, Figura 5.6 (a), com um intervalo de espera de 5 horas entre a secagem da cola e o ensaio.

De seguida, foram colocados no equipamento de ensaio, Figura 5.6 (b), onde foram ensaiados até à rotura e registados os seus resultados.



Figura 5.6. (a) Processo de secagem da colagem dos suportes metálicos aos provetes; (b) Encaixe dos suportes metálicos no aparelho de ensaio.

5.2.6. Inchamento em espessura após imersão em água

Segundo a norma NP EN 317 (2002), para a determinação do inchamento em espessura após imersão total em água foram ensaiados 4 amostras de cada espécie do tipo B'0, B'25, B'50 e B'75, de forma quadrada com 50 mm x 50 mm e espessura média de 21 mm (tal como referido antes, a espessura dos provetes variou um pouco devido a defeitos da produção manual).

As dimensões dos provetes, em mm, foram obtidas numa fase inicial segundo a norma NP EN 325 (2013).

Seguiu-se uma imersão total dos provetes com as suas faces na vertical em água limpa, calma, com um pH de 7 ± 1 e a uma temperatura de 20 ± 1 °C que se manteve durante o ensaio. O equipamento de banho térmico utilizado é ilustrado na Figura 5.12.

Imergiram-se os bordos superiores dos provetes sob 25 ± 5 mm de água. Após expirar o tempo de imersão (24 h), retiraram-se os provetes da água e mediram-se as espessuras de cada um.

Assim, através da Equação 5.6, foi possível calcular o inchamento em espessura de cada provete [Em], expresso em percentagem da espessura de origem.

$$E_m = \frac{(t_2 - t_1)}{t_1} * 100 [\%] \quad \text{Equação 5.6}$$

Nesta equação, t_1 [mm] é a espessura do provete antes da imersão e t_2 [mm] é a espessura do provete após imersão.



Figura 5.7. Equipamento de banho térmico dos provetes.

5.2.7. Resistência à tração e do inchamento em espessura após ensaios cíclicos

A amostragem e corte dos provetes foram efetuadas de acordo com a NP EN 326-1 (2002) e a norma de requisitos NP EN 321 (2010). De acordo com as normas, os provetes B'0, B'25, B'50 e B'75 foram cortados com as dimensões 50 mm x 50 mm e espessura média de 21 mm. Tratou-se de um ensaio complexo, com bastantes etapas que compõe os ensaios cíclicos, que serão explicados de seguida.

Após o processo de amostragem e condicionamento, deu-se início ao primeiro ciclo. As amostras foram imergidas com as faces na vertical em água limpa, com um pH de 7 ± 1 , a uma temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$. O período de imersão foi de 70 ± 1 h, seguido da retirada dos provetes que foram deixados a escorrer durante alguns minutos e depois colocados numa câmara de congelação que previamente já se encontrava entre -12°C e -25°C . O período de congelação foi de 24 ± 1 h. Posteriormente, colocaram-se numa estufa de secagem aquecida previamente a uma temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 70 ± 1 h. Terminou-se este ciclo com a remoção das amostras da estufa e foram colocadas a uma temperatura de 23°C , para um período de arrefecimento de 4 h.

O segundo e terceiro ciclos foram similares ao primeiro, terminando a etapa dos ciclos com o acondicionamento dos provetes até massa constante.

Terminando os ensaios cíclicos, seguiram-se os ensaios de resistência à tração e do inchamento em espessura de acordo com os métodos já abordados anteriormente.

6. Resultados e discussão

Neste capítulo faz-se uma apresentação e análise dos valores registados durante a realização dos ensaios já descritos no capítulo 5. Todas as análises efetuadas tiveram por base os objetivos definidos no capítulo anterior desta dissertação e, à sua semelhança, será assim dividido e ordenado. Sempre que possível, foram analisados e comparados os resultados da presente campanha experimental, com dados bibliográficos de estudos referidos no capítulo 2. Para uma expedita interpretação dos resultados, todos os gráficos possuem uma linha a tracejado e uma sinalética, representativa do patamar máximo/mínimo ou de gama de valores que os fabricantes de painéis madeira-cimento têm que respeitar (Tabela 3.1).

6.1. Características dos materiais

6.1.1. Açúcares presentes nas fibras de bananeira e na madeira de pinho

Os dados obtidos através deste ensaio podem ser comparados na Figura 6.1.

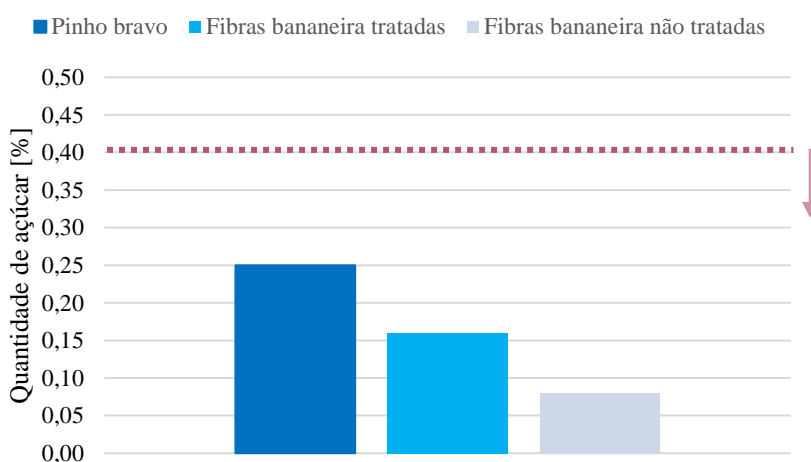


Figura 6.1. Teor de açúcar presente no pinho bravo e fibras de bananeira lavadas e não lavadas.

De acordo com os métodos adotados para a determinação da percentagem de açúcar presente nas fibras de pseudocaule da bananeira, com tratamento e sem tratamento, face aos valores máximos permitidos pela VIROC, foi possível constatar que a utilização das fibras de bananeira cumpre os requisitos.

Os teores de açúcar mais elevados correspondem às fibras de pinho bravo, de árvores cortadas recentemente e armazenadas no parque de materiais da VIROC durante um período, podendo variar consoante o ritmo de produção que a fábrica tenha. As fibras de bananeira não tratadas apresentam uma redução de 30%, face às fibras de madeira. Estes valores eram os expectáveis pois, através da caracterização química apresentada por Batista (2006), referida no capítulo 2.4.2, o pinho bravo apresentou percentagens de hemicelulose superiores às da bananeira.

Concluiu-se também que, a lavagem das fibras não se traduz numa melhoria superior às não tratadas, embora os seus valores se mantenham inferiores aos do pinho.

De um modo geral, estes resultados indicam que, admitindo que as fibras de bananeira chegam à fábrica já secas (por exemplo provenientes de recolha na ilha da Madeira ou outros locais de produção próximos e acessíveis ao porto de setúbal) e que os troncos de pinho chegam após corte recente, é necessário um menor tempo de espera para a introdução desta matéria-prima na linha de produção, dado que a redução dos níveis de açúcar, no caso das fibras de bananeira, acontece mais rapidamente e para valores mais baixos. Ocorre assim, uma redução no tempo de produção dos painéis, e a libertação do espaço útil de armazenamento. No entanto, para se obterem as fibras de bananeira, o pseudocaule necessita de ser triturado de forma distinta, mas em princípio com menor consumo de energia comparativamente às fibras de madeira.

6.1.2. Granulometria das fibras de bananeira, pinho bravo e resíduos VIROC

Fibras de pseudocaule da bananeira

A Tabela 6.1 apresenta o resultado da análise granulométrica das fibras de pseudocaule da bananeira, obtida através do ensaio granulométrico e descrito no capítulo 5.1.2.

Tabela 6.1. Peneiros e aberturas, com respetivas percentagens de fibra de pseudocaule da bananeira retida.

Nº do peneiro	Dimensões do peneiro [mm]	Peso [g]	Acumulado Retido [%]
3/4"	19,100	0,00	0,00
3/8"	9,510	0,40	0,13
4	4,750	23,93	8,11
8	2,360	54,48	26,27
16	1,180	37,26	38,69
30	0,600	42,90	52,99
50	0,300	45,23	68,07
100	0,150	32,90	79,03
200	0,075	17,65	84,92

Aparas de pinho bravo português

A Tabela 6.2 apresenta o resultado da análise granulométrica das aparas de pinho bravo português, obtida através do ensaio granulométrico e descrito no capítulo 5.1.2.

Tabela 6.2. Peneiros e aberturas, com respectivas percentagens de aparas de pinho bravo português retido.

Nº do peneiro	Dimensões do peneiro [mm]	Peso [g]	Acumulado Retido [%]
3/4"	19,100	0	0
3/8"	9,510	16,68	5,56
4	4,750	25,98	14,22
8	2,360	50,87	31,18
16	1,180	36,98	43,50
30	0,600	38,00	56,17
50	0,300	46,00	71,50
100	0,150	20,48	78,33
200	0,075	22,45	85,81

Resíduos VIROC

A Tabela 6.3 apresenta o resultado da análise granulométrica da mistura madeira-cimento não utilizado na produção de placas, obtida através do ensaio granulométrico e descrito no capítulo 5.1.2.

Tabela 6.3. Peneiros e aberturas, com respectivas percentagens de resíduos VIROC retido.

Nº do peneiro	Dimensões do peneiro [mm]	Peso [g]	Acumulado Retido [%]
3/4"	19,100	0,00	0,00
3/8"	9,510	0,65	0,18
4	4,750	7,03	2,08
8	2,360	25,81	9,05
16	1,180	75,96	29,58
30	0,600	75,36	49,95
50	0,300	71,76	69,34
100	0,150	54,30	84,02
200	0,075	32,83	92,89

Análise comparativa das curvas granulométricas

As três curvas granulométricas dos diferentes materiais podem ser observadas na Figura 6.2.

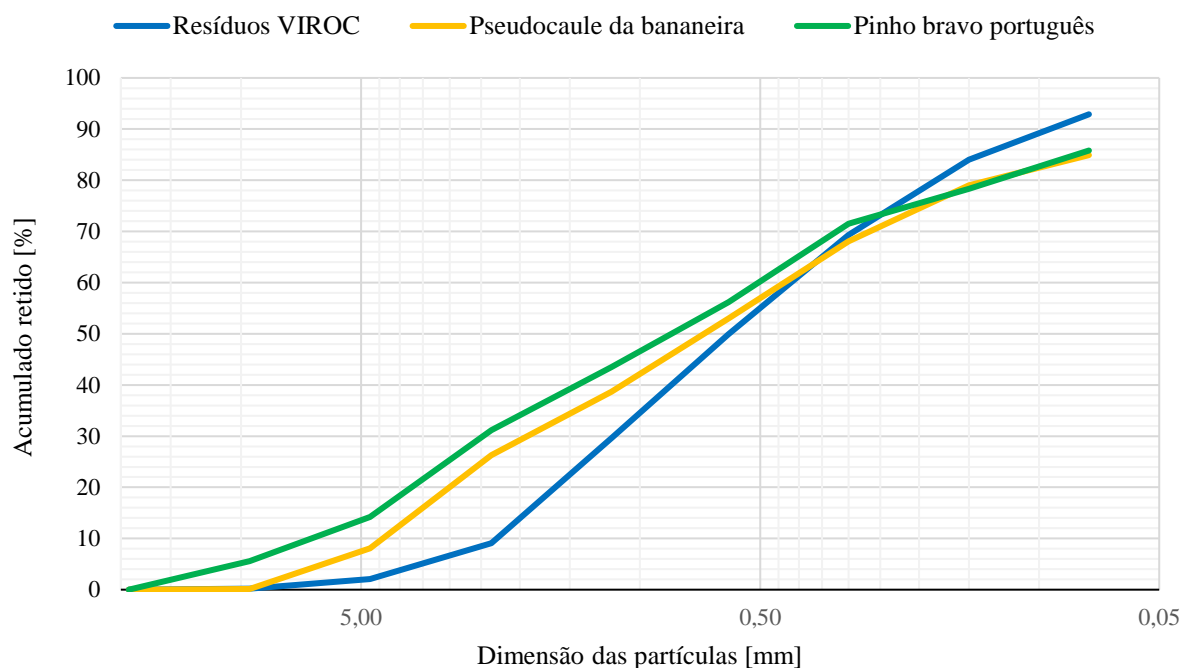


Figura 6.2. Traçado das curvas granulométricas do pseudocaule da bananeira, das aparas de madeira e dos resíduos da VIROC.

Foi traçada uma nova curva granulométrica com a percentagem retida em cada peneiro, Figura 6.3, de maneira a aproximar o método de análise e interpretação dos resultados fornecidos pela VIROC e os obtidos no laboratório da faculdade.

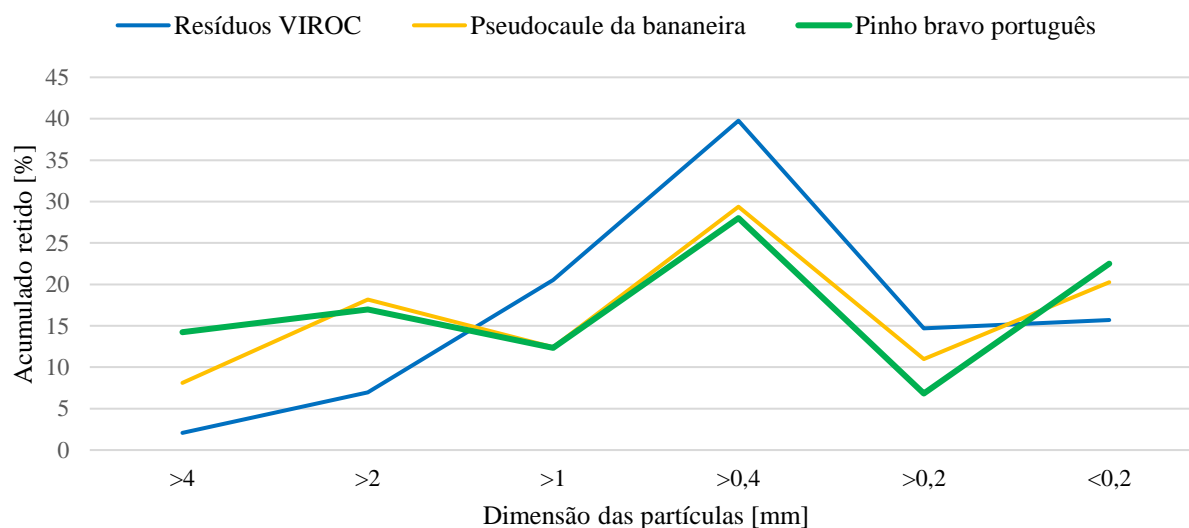


Figura 6.3. Comparativo das curvas granulométricas: pseudocaule da bananeira resíduos vs aparas de madeira vs resíduos VIROC.

Comparando as curvas granulométricas do resíduo de bananeira, das aparas de madeira e dos resíduos proveniente da fábrica, é notória a semelhança entre as percentagens de partículas retidas, tal como se pretendia no caso das fibras de bananeira e como era expectável no caso dos resíduos granulares da VIROC. É de realçar a importância das percentagens de material retido, com dimensões inferiores a 1 mm, estar

compreendida entre os 50 e os 60 % (regra do processo de fabrico da empresa). No caso dos resíduos extraídos da VIROC, o valor é de 70%, não estando dentro da gama de valores aceitável uma vez que estes resíduos contêm cimento misturado (partículas muito finas). Já o pinho bravo português e o pseudocaule da bananeira apresentaram valores de 57% e 61%, respetivamente. Pode assim constatar-se que, do ponto de vista granulométrico, as hipóteses de utilizar as fibras de bananeira trituradas e de reutilizar as aparas de pinho bravo, provenientes dos resíduos da produção dos painéis VIROC, parecem ser viáveis. No entanto, relativamente à reutilização dos resíduos VIROC, continua a existir um problema, na medida que, quando estes resíduos são recolhidos, há uma percentagem destes materiais que formam pequenos aglomerados, muito difíceis ou impossíveis de serem peneirados. A utilização deste resíduo fica assim para trabalhos futuros, que podem passar pela utilização na produção de outros materiais que não placas.

6.1.3. Baridade das fibras

A Figura 6.4 ilustra as diferentes granulometrias que se obtém quando as diferentes fibras são trituradas e separadas após peneiração.



Figura 6.4. Separação granulométrica dos diferentes materiais, acima e abaixo de 1 mm: (a) fibra de pseudocaule da bananeira triturada; (b) pinho bravo triturado.

As baridades das fibras estão dispostas na Figura 6.5, consoante o tipo de fibra e dimensão (acima e abaixo de 1 mm).

Conforme ilustrado, a baridade das fibras de pinho bravo e do pseudocaule da bananeira, com dimensões acima e abaixo de 1 mm, são bastante similares. A importância da constatação destes valores reside no fato de possibilitar uma distribuição mássica e volumétrica muito semelhante para as ambas as fibras. Caso as baridades fossem muito dispares, a substituição das fibras teria de ter sido mais controlada, uma vez que os valores em massa e em volume seriam mais distintos.

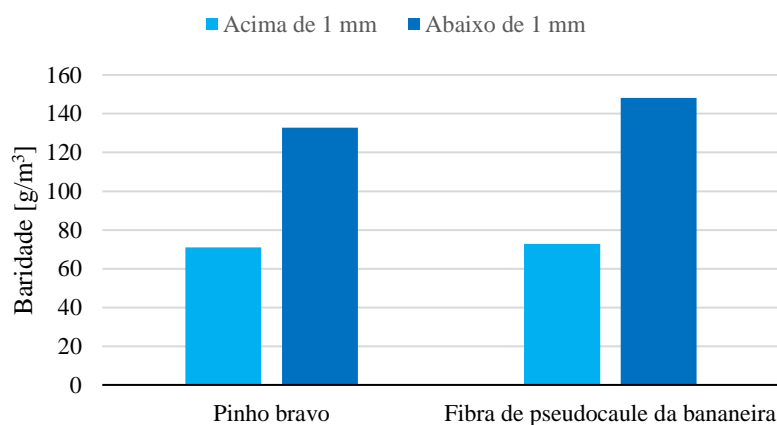


Figura 6.5. Baridade das fibras, consoante o seu tipo e dimensão granulométrica.

6.2. Caraterísticas das amostras dos painéis

6.2.1. Condutibilidade térmica

Todos os valores de condutibilidade térmica obtidos encontram-se na Tabela 6.4, com os respetivos valores de desvio padrão dos valores médios correspondentes às zonas laterais e centrais dos provetes ensaiados.

Tabela 6.4. Valores médios do coeficiente de condutibilidade térmica de cada provete, em $W/(m \cdot ^\circ C)$ e desvio padrão dos valores médios obtidos.

Tipo de painel	λ nas zonas CN	λ nas zonas LT	Desvio padrão
B0	0,516	0,577	0,012
B25	0,577	0,564	0,003
B50	0,599	0,614	0,002
B75	0,558	0,627	0,013
B'0	0,591	0,498	0,022
B'25	0,523	0,539	0,003
B'50	0,634	0,605	0,007
B'75	0,593	0,621	0,004

Relativamente aos painéis produzidos na fábrica, foi fornecida a informação do coeficiente de condutibilidade térmica de $0,22 W/(m \cdot ^\circ C)$, enquanto que, para a mesma composição mas para os provetes só com fibras de madeira produzidos manualmente, o valor médio obtido, entre o B0 e o B'0, é de $0,54 W/(m \cdot ^\circ C)$. Comparando os valores apresentados pela VIROC com os valores ensaiados, é de notar que há uma diferença entre o valor dos painéis produzidos pela linha de produção na fábrica e os provetes produzidos manualmente na FCT NOVA. Entre outros, tal deve ser devido a um processo excessivo de compactação durante a manufatura dos provetes e/ou a formulação fornecida pela VIROC ligeiramente distinta. Por outro lado, relembra-se que, todos os valores de condutibilidade térmica obtidos são muito

acima dos apresentados pela VIROC, uma vez que foram analisados antes do último processo de cura, onde ainda era expectável a presença de água nas placas. Assim sendo, muito provavelmente, os valores de condutibilidade térmica apresentados na presente dissertação são muito superiores aos que se obteriam se o ensaio tivesse sido realizado após a conclusão de todas as etapas de cura dos compósitos com cimento. Tal não foi possível devido à necessidade de corte dos provetes para amostras de menor dimensão.

A Figura 6.6 ilustra os valores médios de condutibilidade térmica nas zonas laterais (LT) e centrais (CN) dos provetes, respetivamente, sendo possível uma análise visual entre os provetes B e B'.

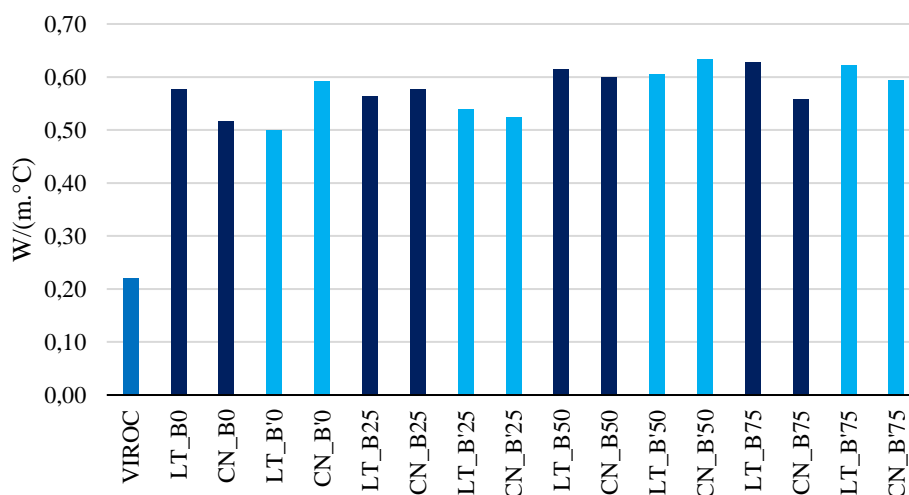


Figura 6.6. Condutibilidade térmica das zonas laterais e centrais dos provetes.

Analisando a Tabela 6.4, através dos valores de desvio padrão obtidos, é possível verificar a grande similaridade das condutibilidades térmicas entre cada zona do mesmo provete, variando entre os 0.50 - 0,63 W/(m.°C).

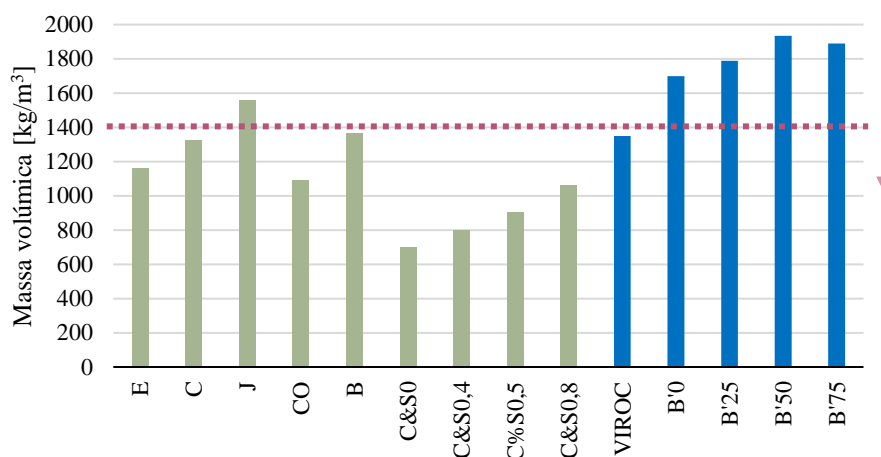
De acordo com a Figura 6.6, os resultados do ensaio de condutibilidade térmica mostram que os valores tendem a aumentar ligeiramente com a utilização de fibras de bananeira, face aos provetes produzidos com as composições originais B0 e B'0. Uma possível justificação pode ser o fato da granulometria das fibras apresentar maior percentagem de finos, diminuindo os espaços vazios e aumentando a facilidade de transferência de calor pelo material. Os provetes B'0 e B'50 são os mais eficientes a nível térmico, indicando que o aumento de percentagem de fibra de bananeira se traduz em resultados mais desvantajosos.

Através da análise do desvio padrão, verifica-se que, a composição e disposição do material constituinte dos provetes B0, B25, B50 e B75 é muito idêntica, respetivamente, aos provetes B'0, B'25, B'50 e B'75.

De um modo geral, os dados remetem para um aumento da condutibilidade térmica na ordem dos 8,7 % nos provetes B e de 19 % nos provetes B'. O fato da produção dos B' ter sido realizada após os B, ou seja, inevitavelmente, toda a experiência e logística envolvida no fabrico dos B' melhorou, permitindo chegar a uma condutibilidade térmica inicial de 0.517 W/(m.°C), aumentando a discrepância entre o valor de B'0 e de B'75.

6.2.2. Massa volúmica

Apresenta-se na Figura 6.7 os resultados da massa volúmica dos provetes desenvolvidos nesta dissertação, em comparação com os resultados dos painéis VIROC e com os valores da pesquisa bibliográfica.



Nota: Painéis compósitos de: E - cimento e eucalipto (Latorraca, 1996); C - cimento e cedro (Macêdo *et al.*, 2012); J - cimento e jatobá (Macêdo *et al.*, 2012); CO - cimento e coco (Almeida *et al.*, 2002); B - cimento e bamboo (Sudin *et al.*, 2006); C&S0 - cimento e casca de arroz; C&S0,4 - cimento, casca de arroz e 0,4% de sisal; C&S0,5 - cimento, casca de arroz e 0,5% de sisal; C&S0,8 - cimento, casca de arroz e 0,8% de sisal (Mrema, 2013).

Figura 6.7. Massa volúmica dos provetes analisados, comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de painéis compósitos de diferentes materiais.

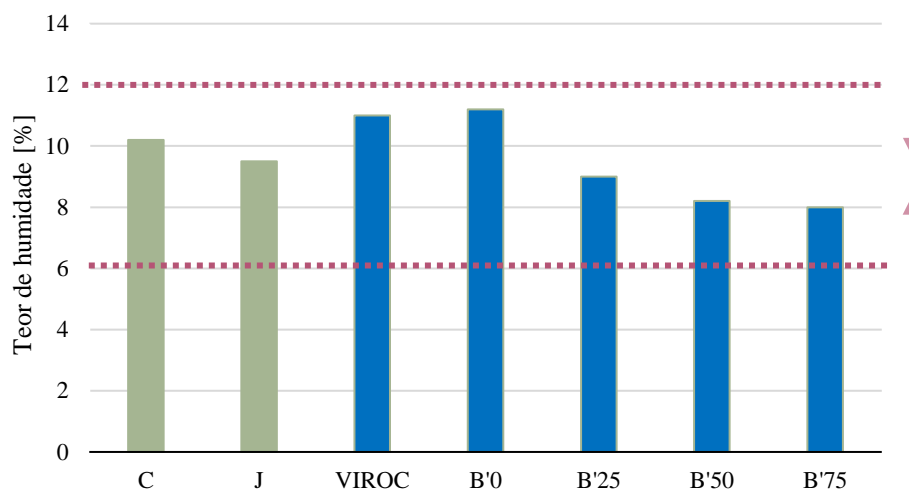
Os resultados da massa volúmica dos provetes são elevados devido ao fato das dimensões granulométricas das fibras de bananeira (abaixo de 1 mm), serem inferiores às do pinho bravo, ocupando mais espaços vazios e aumentando a compacidade das placas. A par disso, aquando da conceção dos provetes, houve uma diminuição dos espaços vazios (supostamente conferido pela queda aleatória das fibras), devido a uma ligeira compressão das camadas, à medida que se foram preenchendo os moldes.

Os maiores valores de massa volúmica correspondem aos provetes que possuem na sua constituição uma maior percentagem de fibra de bananeira (B'75), variando de 1699 a 1890 kg/m³, não cumprindo com os valores máximos estabelecidos.

Relacionando com a condutibilidade térmica, as amostras cuja composição é mais rica em fibra de bananeira e cuja massa volúmica é maior, corresponde a uma maior condutibilidade.

6.2.3. Teor de humidade

Na Figura 6.8, dispõe-se as médias de teor de humidade dos provetes desenvolvidos nesta dissertação, em comparação com resultados dos painéis VIROC e com valores da pesquisa bibliográfica.



Nota: C - Painéis compósitos de cimento e cedro e J - cimento e jatobá (Macêdo *et al.*, 2012)

Figura 6.8. Teor de humidade presente nos provetes ensaiados, comparativamente a resultados dos painéis VIROC e outros painéis compósitos.

Quando comparadas as percentagens de teor de humidade dos produtos da VIROC com os produzidos neste trabalho, o intervalo de valores foi respeitado. Segundo a norma NP EN 322 (2002), o teor dos painéis VIROC pode variar entre os 9 ± 3 %, indo de encontro aos resultados obtidos nos ensaios que variam entre 8 e 11 %.

Conforme se pode constatar, quanto mais rica for a mistura em fibra de bananeira (B'75), menores serão as percentagens de teor de humidade nos painéis, comprovando-se assim que a madeira tem um poder higroscópico superior ao das fibras de bananeira.

Melo *et al.* (2015) refere que a higroscopicidade destes materiais reduz quando sujeitos a altas temperaturas e pressão na consolidação final do painel, que são responsáveis pela degradação parcial das polioses (polissacarídeos presentes nas madeiras e nas plantas, que estão associadas à celulose e à lenhina nos tecidos vegetais) e também a questões de higroscopicidade das fibras.

O fato de apresentarem teores de humidade inferiores constituem uma vantagem na medida que, potencialmente, existe uma menor variação dimensional. Embora o comportamento das fibras seja bom nesse aspeto, há o risco de aparecerem pequenas fissuras no interior, nas faces ou nas zonas de fixação de suporte dos painéis, devido à insuficiência do cimento em relação a variações da sua geometria.

No que diz respeito ao processo de fabrico dos painéis em estudo, valores mais baixos de teores de humidade podem conduzir à possibilidade de uma diminuição do tempo dos painéis no túnel de secagem, baixando assim os custos energéticos associados a este processo.

6.2.4. Espessura, resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão

Os valores médios das espessuras obtidas pela medição dos provetes ensaiados encontram-se na Figura 6.9, apresentando uma gama de espessuras entre 19,15 mm e 21,80 mm.

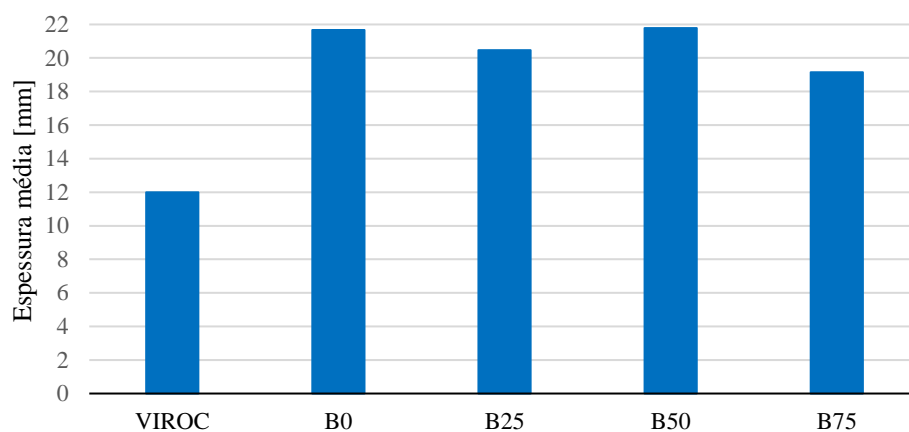
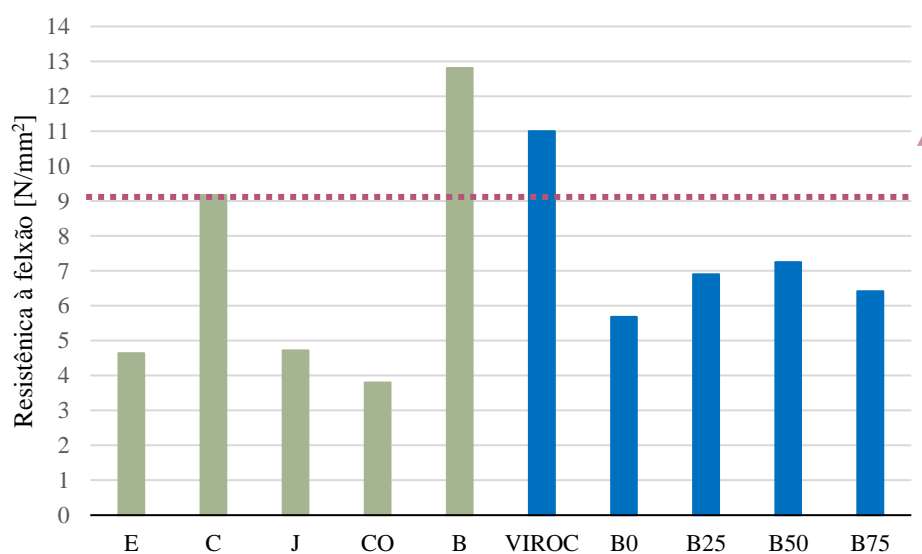


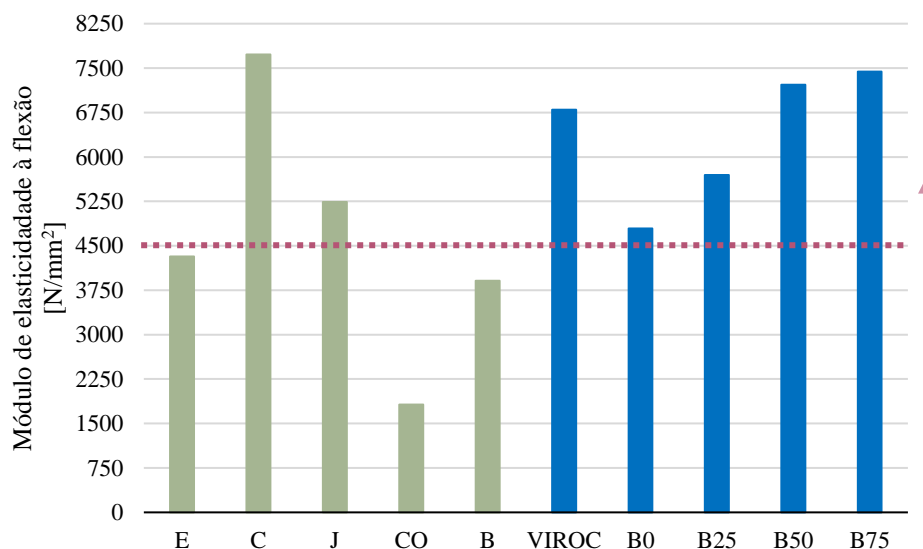
Figura 6.9. Espessuras médias dos provetes ensaiados.

Apresentam-se de seguida, os resultados médios da resistência à flexão dos provetes de painéis, Figura 6.10 e os respetivos módulos de elasticidade, Figura 6.11, comparativamente a valores dos painéis VIROC e de pesquisa bibliográfica.



Nota: E - Painéis compósitos de: cimento e eucalipto (Latorraca, 1996); C - cimento e cedro (Macêdo *et al.*, 2012); J - cimento e jatobá (Macêdo *et al.*, 2012); CO - cimento e coco (Almeida *et al.*, 2002) e B - cimento e bamboo (Sudin *et al.*, 2006).

Figura 6.10. Resistência à flexão dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.



Nota: Painéis compósitos de: E - cimento e eucalipto (Latorraca, 1996); C - cimento e cedro (Macêdo *et al.*, 2012); J - cimento e jatobá (Macêdo *et al.*, 2012); CO - cimento e coco (Almeida *et al.*, 2002) e B - cimento e bamboo (Sudín *et al.*, 2006).

Figura 6.11. Módulo de elasticidade em flexão dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.

Com base nos resultados da Figura 6.10, a utilização parcial de fibra de bananeira conduz a um aumento dos valores de resistência à flexão, sendo a mistura B50 a mais otimizada no processo de fabrico.

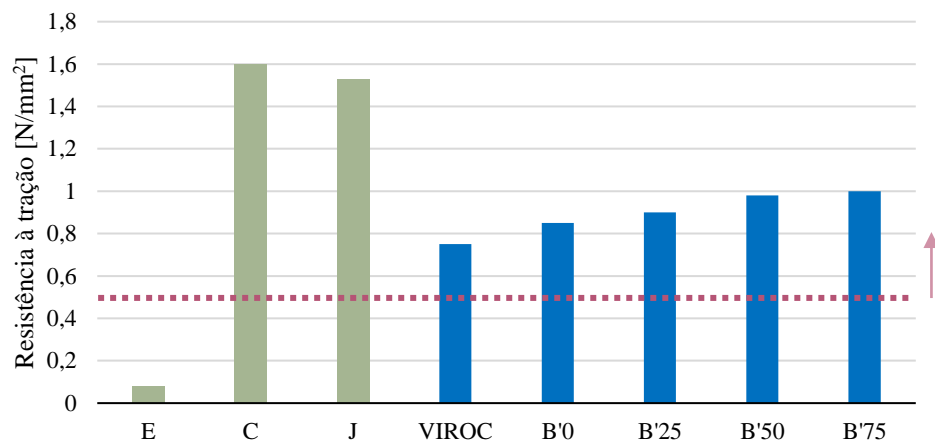
Como tal, dada a elevada massa volúmica dos provetes, os valores de resistência à flexão foram comprometidos, não respeitando os valores mínimos requeridos pela norma de requisitos.

Relativamente aos resultados do módulo de elasticidade em flexão, Figura 6.18, estes eram expectáveis. De acordo com o estudo bibliográfico apresentado anteriormente, os provetes C e B75 foram os que apresentaram maiores valores médios, superiores aos demais. Assim se entende que, com uma substituição de 75% de pinho bravo por fibras da bananeira, se consegue igualar ou superar, a gama de valores de módulo de elasticidade em flexão dos painéis compósitos com madeira.

6.2.5. Resistência à tração perpendicular às faces da placa

Os resultados do ensaio de resistência à tração perpendicular às faces da placa são apresentados na Figura 6.12.

Verifica-se que, a resistência à tração tem tendência a aumentar à medida que a percentagem de fibras de bananeira aumenta na sua composição.



Nota: E – Painéis compósitos de cimento e: E - eucalipto (Latorraca, 1996); C - cedro e J - jatobá (Macêdo *et al.*, 2012).

Figura 6.12. Resistência à tração dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.

Os valores médios de resistência à tração dos provetes B'0 sofreram um aumento de 18% face aos B'75. O aumento da resistência está também estar relacionado com a maior massa volúmica dos provetes B'75, face aos B'0.

Através de uma análise visual de pós-rutura dos provetes, comprovou-se que, a zona de rutura acontece no intervalo entre camadas, dado que a deposição das camadas foi feita com um intervalo, criando uma ligeira fragilidade nessa zona intermédia, Figura 6.13, tal como acontece nas placas de VIROC.

A Figura 6.14 tem como objetivo demonstrar a semelhança da distribuição interna das fibras incorporadas na mistura dos provetes.

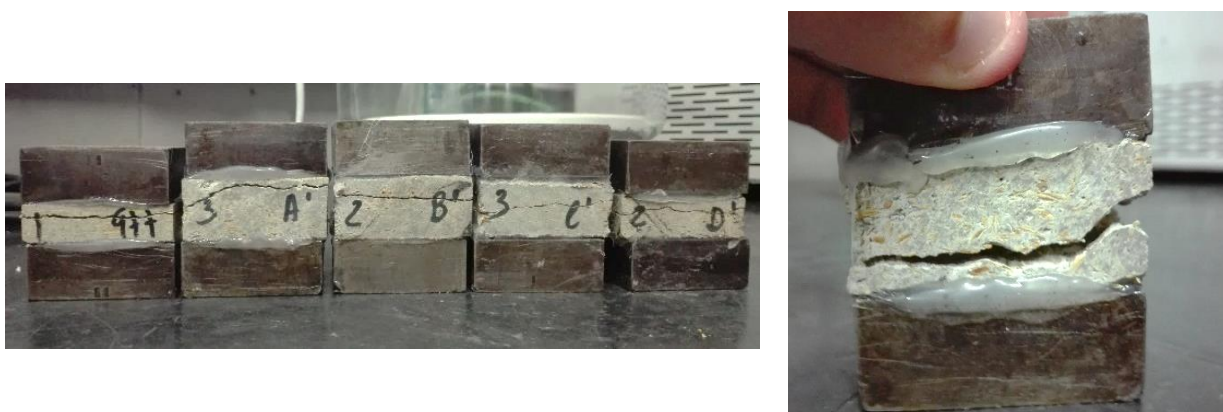


Figura 6.13. Zona de rutura dos provetes após ensaio de tração.

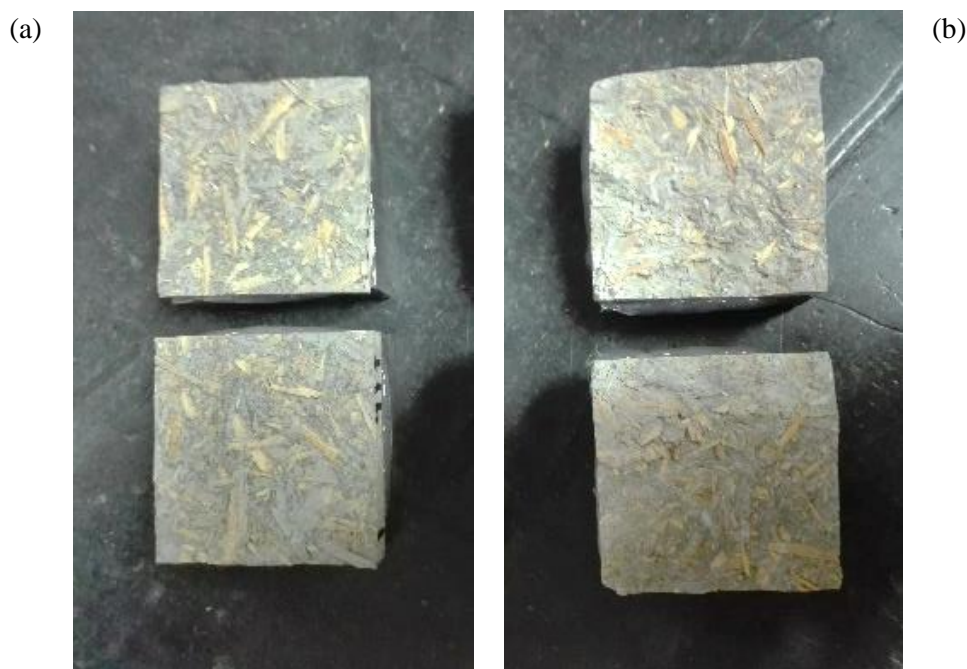
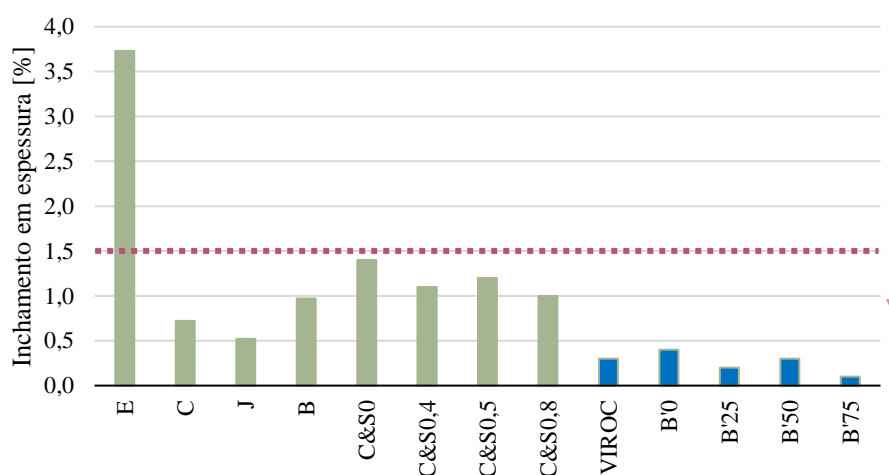


Figura 6.14. Vista do interior dos provetes após ensaio de tração: (a) provete elaborado industrialmente na VIROC; (b) provete produzido manualmente na FCT NOVA.

6.2.6. Inchamento em espessura após imersão em água

O ensaio de inchamento em espessura após imersão em água apresenta os resultados da Figura 6.15.



Nota: Painéis compósitos de cimento e: E - eucalipto (Latorraca, 1996); C - cedro e J - jatobá (Macêdo *et al.*, 2012); B - bamboo (Sudin *et al.*, 2006); C&S0 - casca de arroz; C&S0,4 - casca de arroz e 0,4% de sisal; C&S0,5 - casca de arroz e 0,5% de sisal; C&S0,8 - casca de arroz e 0,8% de sisal (Mrema, 2013).

Figura 6.15. Inchamento em espessura dos provetes ensaiados comparativamente a resultados dos painéis VIROC e de outros painéis compósitos.

Foi possível observar-se a variação dos valores nos diferentes provetes, onde B'75 apresenta notoriamente, um menor percentual de inchamento em espessura. A maior absorção de água para painéis com maior presença de pinho bravo pode estar relacionada, fisicamente, com as características anatómicas da fibra (elevada porosidade) e quimicamente com o maior percentual de hemicelulose (Melo *et al.*, 2015), uma vez que é o componente químico responsável por conferir deformabilidade ao material, como referido em 2.4.2.

Tendo em conta os valores em estudo e os obtidos nas fontes bibliográficas, os provetes produzidos para a presente dissertação revelaram apresentar um melhor comportamento face ao inchamento em espessura. Contudo, para Latorraca (2000), esta propriedade física é exclusivamente influenciada pelos tipos de fibra presentes, devido ao ambiente de enclausuramento das partículas, oferecido pela matriz de cimento.

Com exceção para o eucalipto (Latorraca, 1996), todas as espécies analisadas em painéis compósitos com cimento (Figura 6.15) ficaram abaixo das médias exigidas pelos fabricantes de CBPB.

6.2.7. Resistência à tração e do inchamento em espessura através de ensaios cíclicos

Os resultados do ensaio de resistência à tração e do inchamento em espessura após imersão em água através de ensaios cíclicos, resultou nos valores representados na Figura 6.16 e 6.17, respetivamente. De modo a distinguirem-se os provetes que foram sujeitos a ensaios cíclicos, acrescentou-se a letra “Y” à nomenclatura já definida anteriormente.

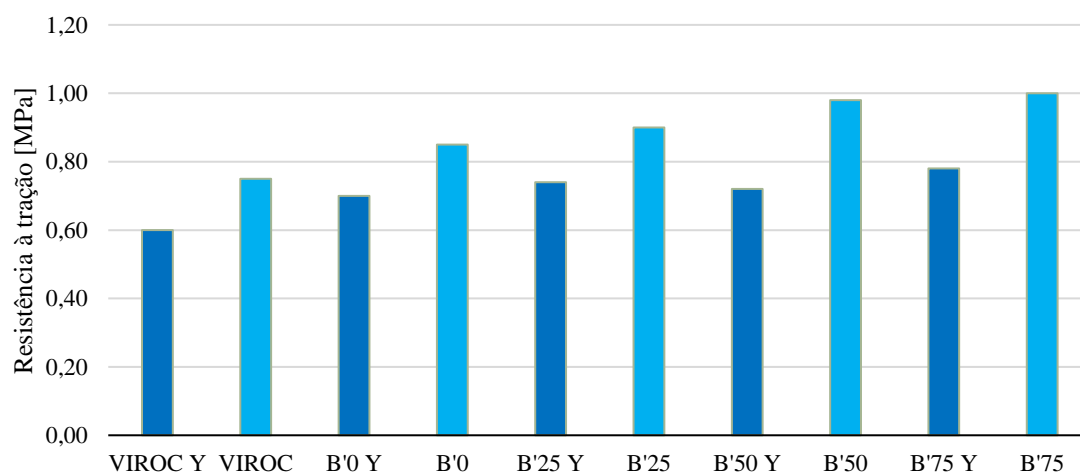


Figura 6.16. Resistência à tração dos provetes ensaiados antes e após envelhecimento acelerado por ensaios cíclicos.

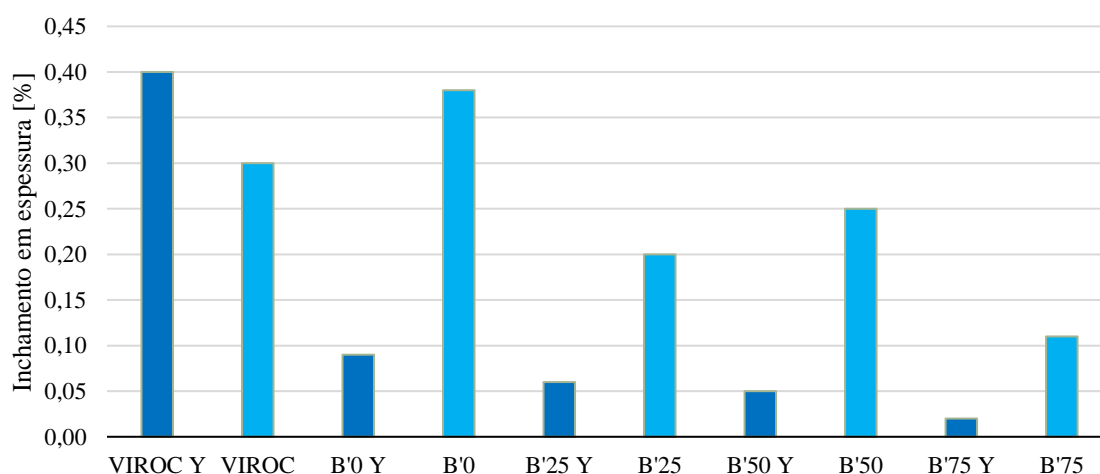


Figura 6.17. Inchamento em espessura dos provetes ensaiados antes e após envelhecimento acelerado por ensaios cíclicos.

De acordo com o historial de ensaios realizados pelo departamento técnico da VIROC, é normal uma redução de cerca de 0,3 MPa dos valores de resistência à tração, causadas pela degradação das propriedades das fibras. Através da Figura 6.16 é possível constatar que, a redução dos valores dos ensaios, antes e após ensaios cíclicos, aproximam-se dos 0,3 MPa. Foi no caso dos provetes B'50 Y e B'75 Y, que se observou uma maior redução na capacidade de resistir à tração. Houve assim, uma degradação acrescida das fibras da bananeira, devido ao processo artificial de envelhecimento e de degradação acessório aos ensaios cíclicos. No entanto, os valores de resistência à tração dos provetes com fibras de bananeira continuam superiores aos provetes de referência, B'0 Y, composto só com as aparas de madeira.

No caso do ensaio de inchamento em espessura através de ensaios cíclicos, verificou-se uma redução do inchamento dos painéis com o aumento do teor em fibras de bananeira. Houve também um aumento de 22 % nos valores obtidos neste ensaio, inferiores aos mesmo ensaios, expostos anteriormente expostos em 6.2.6, que apresentaram uma variação de 25%. No entanto, o valor médio de inchamento em espessura, no presente ensaio, foi de 0,055%, face a um valor de 0,25%, quando não sujeitos a ensaios cíclicos, o que demonstra que, com a degradação das fibras, explicada pela diminuição das capacidades de resistência à tração, existe uma consequente perda da capacidade higroscópica.

A Figura 6.18 demonstra o fenómeno de eflorescência, visível nas faces dos provetes, que ficaram mais esbranquiçadas, comprovando-se na imagem a diferença de cor no provete da esquerda, face ao da direita, que não esteve sujeito aos ensaios cíclicos.

Através da ação da água, neste caso presente durante o banho térmico do ensaio cíclico, os sais existentes na constituição do provete, migraram para a superfície, resultando na formação de depósitos salinos aquando da evaporação da água. Este resultado pode indiciar um mau comportamento das placas, que pode ocorrer quando se encontram expostas no exterior.

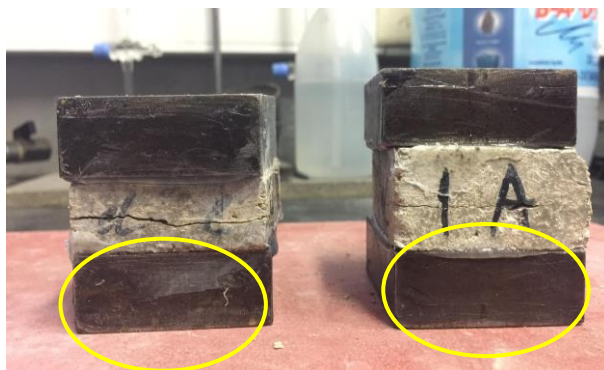


Figura 6.18. Eflorescência presente nos provetes, após ensaios cíclicos.

6.3. Síntese de resultados

Serve o presente capítulo, para sintetizar os resultados obtidos no capítulo 6.2, que se encontram dispostos na Tabela 6.5, de maneira a permitir uma análise da evolução das propriedades físicas dos provetes e amostras, consoante a sua composição.

A seguinte tabela expõe os valores resultantes dos ensaios efetuados, atribuindo-se cor verde ou vermelho, no caso melhorar ou piorar o comportamento face aos provetes de painel de referência B0/B'0. Os casos a verde cumprem o definido na norma de requisitos dos CBPB (Tabela 3.1), melhorando as propriedades do material e a vermelho quando o oposto suceder. Surgem a laranja no caso de não cumprir o definido na norma de requisitos dos CBPB, embora constituindo uma variação positiva.

Tabela 6.5. Síntese de resultados dos valores obtidos pelos ensaios dos provetes.

Tipo de proвете / Ensaio	Condutib térmica [W/(m°C)]	Massa vol [kg/m³]	Teor de humidade [%]	Resist à flexão [N/mm²]	Módulo de elast. em flexão [N/mm²]	Resist. à tração [N/mm²]	Inchamento [%]	Resist à tração – após ciclos [N/mm²]	Inchamento em espessura – após ciclos [%]
B0/B'0	0,54	1699	11,2	5,7	4791	0,85	0,38	0,70	0,09
B25/B'25	0,55	1788	9,0	6,9	5695	0,90	0,20	0,74	0,06
B50/B'50	0,61	1934	8,2	7,3	7219	0,98	0,25	0,72	0,05
B75/B'75	0,61	1890	8,0	6,4	7443	1,00	0,11	0,78	0,02

7. Conclusões

7.1. Considerações finais

A presente dissertação, realizada numa colaboração com a VIROC Portugal S.A., teve como principal objetivo o estudo da viabilidade do uso de fibras de pseudocaule da bananeira na produção de painéis compósitos de madeira-cimento, tentando atingir um processo de fabrico com recurso a um material mais eco-eficiente, que constitui um resíduo, e com validação das propriedades físico-mecânicas deste tipo de painéis. Neste trabalho foram analisados vários provetes de CBPB produzidos para o efeito, considerando substituições parciais de partículas de pinho bravo por fibras do pseudocaule da bananeira: 0 %, 25 %, 50 % e 75 % em massa.

A campanha experimental permitiu, deste modo, analisar o impacto do aumento do teor de fibras do pseudocaule da bananeira nas propriedades de provetes de painéis simulando os painéis VIROC, comparando, sempre que possível, os valores obtidos com estudos disponíveis em fontes bibliográficas e averiguando, paralelamente, o cumprimento das normas de requisitos dos CBPB.

Começando pela análise dos açúcares, presentes na composição química da fibra do pseudocaule da bananeira, os resultados revelaram-se benéficos, apresentando um percentual de açúcar bastante inferior ao pinho bravo português, utilizado na produção dos painéis VIROC. O tratamento prévio das fibras, por lavagem em água fria, revelou-se irrelevante (ou mesmo contraproducente) de acordo com os resultados obtidos.

De acordo com os traçados das curvas granulométricas, conclui-se que a granulometria das fibras de pseudocaule da bananeira e do pinho bravo conseguem ser bastante semelhantes, através de moagem simples em moinho de lâminas, respeitando a gama de valores estabelecida pela VIROC, para a produção conforme dos painéis. Embora não explorado em detalhe nesta dissertação, analisou-se também a curva granulométrica de resíduos granulares recolhidos nas instalações da fábrica, indiciando a possível viabilidade da reutilização destes mesmos resíduos na produção de outros produtos para a construção. Contudo, a análise foi estritamente dedicada à componente granulométrica, não garantindo que, quimicamente, os resultados do aproveitamento destes mesmos resíduos se revelem satisfatórios.

Relativamente a gastos energéticos e equipamentos necessários para se obterem as fibras de bananeira, o pseudocaule necessita de ser triturado de forma distinta, mas em princípio com menor consumo de energia comparativamente às fibras de madeira.

Embora a utilização corrente destes painéis não abranja a gama dos materiais de isolamento térmico e estes tenham espessuras reduzidas, apresentam valores de condutibilidade térmica relativamente baixa, para painéis. No entanto, os provetes produzidos para o presente estudo, revelaram-se menos benéficos, tendo como justificação o facto destes ensaios terem sido realizados antes do tempo de cura dos provetes terminar. A existência de humidade nos provetes, aquando da realização do ensaio, conduziu a resultados que se

preveem superiores aos que deveriam ocorrer com as placas com a sua cura terminada. No entanto, os resultados do ensaio possibilitaram aferir, de forma indireta, uma boa homogeneidade ao longo da área de cada provete de placa.

Devido a um erro na compactação dos provetes, os dados obtidos para as massas volúmicas foram bastante comprometedores para o estudo do comportamento físico do material. A elevada compacidade conferida a estes painéis teve um impacto bastante notório nas restantes propriedades físicas, que se fizeram sentir sobretudo na resistência à flexão e no módulo de elasticidade em flexão. O aumento dos valores de massa volúmica verificou-se com o aumento do teor de fibra de pseudocaule da bananeira na mistura, uma vez que o maior teor deste resíduo em partículas de reduzidas dimensões diminui os espaços vazios e aumenta a compacidade. Os valores não apresentam uma boa correlação com a condutibilidade térmica, muito provavelmente pela humidade existente aquando da realização deste último ensaio.

As variações de espessuras apresentadas pelas amostras e provetes, causadas pelas dificuldades existentes durante o processo de prensagem para a sua produção, revelaram-se bastante influentes e preponderantes no comportamento físico dos provetes.

Em termos de capacidade de o material resistir à flexão e ao módulo de elasticidade em flexão, demonstrou-se que o aumento do teor de fibras de pseudocaule da bananeira conduziu também ao aumento da resistência à flexão e da sua rigidez.

Os ensaios cíclicos realizados revelaram que houve uma degradação das fibras de pseudocaule da bananeira, tendo sido o impacto mais notório nos valores do ensaio de resistência à tração, do que no ensaio de inchamento em espessura.

O ensaio de inchamento em espessura foi bastante conclusivo, demonstrando que os provetes com 75 % de fibras de bananeira, possuem menor variação geométrica, quando em contacto com a água durante o período do ensaio, concluindo que, face aos provetes sem fibras, são materiais mais estáveis.

A resistência à tração perpendicular às faces da placa revelou-se superior para os provetes com 75 % de fibras, estando, para os diversos provetes, diretamente relacionada com o aumento do teor de fibras de pseudocaule da bananeira.

Em síntese, considerou-se que a introdução de fibras de pseudocaule da bananeira possui um elevado potencial para a produção de painéis compósitos VIROC. Apesar dos valores obtidos terem sido fortemente influenciados pelo fabrico laboratorial e não industrial, com variações de espessura nos provetes que podem influenciar alguns dos resultados e com maior compacidade e menor diferenciação entre as camadas interior e exteriores, de um modo geral a viabilidade destes painéis é comprovada, respeitando, na maioria dos casos, as normas de requisitos dos fabricantes de painéis compósitos de madeira-cimento e superando as propriedades químicas e mecânicas apresentadas pelos painéis só com aparas de madeira do tipo VIROC.

7.2. Trabalhos futuros

Conforme foi explicado, o modo de preparação laboratorial dos provetes apresentou alguns inconvenientes. Posto isto, recomenda-se aos trabalhos vindouros nesta área um cuidado acrescido na compactação das camadas dos provetes, pois a disposição do material nos moldes tem extrema preponderância nas propriedades destes tipos de painéis.

Recomenda-se ainda, um reforço maior das chapas utilizadas para os moldes, de modo a suportar as cargas exercidas pelos equipamentos de prensagem, com utilização de chapas mais espessas e fixadores mais resistentes.

Ao longo do estudo desenvolvido foi perceptível que as dimensões das partículas de fibra de pseudocaule de bananeira, quando amassadas, resultaram em dimensões muito inferiores às das aparas de pinho bravo, sendo importante intervalar estas dimensões com peneiros de malhas adequadas.

É importante avaliar a influência que a substituição de aparas de madeira por fibras de bananeira pode ter na suscetibilidade das placas ao desenvolvimento biológico. Para tal, foram já disponibilizados provetes para a realização deste ensaio no LNEC, apesar de os respetivos resultados não ficarem disponíveis no curto período em que se desenvolveu esta dissertação.

Sugere-se, ainda, a continuidade do estudo de caracterização dos resíduos colhidos nas instalações fabris da VIROC, de modo a efetuar uma análise completa relativa à viabilidade do uso destes resíduos industriais, reintroduzindo-os no processo de fabrico dos painéis ou na produção de outros produtos para a construção.

Referências bibliográficas

- Almeida, R. R., Menezzi, C. H. S., Teixeira, D. E. (2002) Utilization of the coconut shell of babacu to produce cement-bonded particleboard. *Biosource Technology*, 85(2), pp 159-163
- Alvito, J. S. A. M. (2013) Comportamento estrutural de ligações em painéis de cement bonded particle boards, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FCT NOVA
- Amziane, S., Collet, F., Lawrence, M., Magniont, C., Picandet, V., & Sonebi, M. (2017) Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: Characterisation testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity. *Materials and Structures*, 50(3), pp 50-167
- Antunes, A. R. N. (2017) Performance of earth-based products reinforced with rice husk for indoor refurbishment, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FCT NOVA
- Antunes, A., Faria, P., Brás, A., Silva, V. (2019) Rice husk-earth based composites: a novel bio-based panel for buildings refurbishment. *Construction and Building Materials* 221, pp 99-108.
- Batista, C. M. C. (2006) Influência das condições de cozimento sobre a estrutura da lenhina e a branqueabilidade da pasta kraft de pinus pinaster, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior
- Borges, A. L., Souza, L. S. (2004) O cultivo da bananeira, Livro da Empresa Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande
- Brás, A., Antunes, A., Laborel-Préneron, A., Ralegaonkar, R., Shaw, A., Riley, M., Faria, P. (2019) Optimisation of bio-based building materials using image analysis method. *Construction and Building Materials* 223, pp 544-553
- BS 476 : Part 7 : 1997 – Method for classification of the surface spread of flame of products.
- Cardoso, S. C. C. (2014) Placas para a construção com base em carolo de milho, contributo para o seu desenvolvimento e caracterização, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FCT NOVA
- Carvalho, W. (1996) A vision of wood structure, composition and biodegradation. *Química Nova*, 32 (8), pp 4-11
- Coelho, R. R. P., Mata, M. E. R. M., Braga, M. E. D. (2001) Alteração dos componentes nutricionais do pseudocaule da bananeira quando processado visando sua transformação em palmito. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 3(1), pp 21-30
- DTU P 92-703 : 1988 – Calcul réglementaire de la résistance au feu des structures en bois. AFNOR, Bordeaux

- Eichhorn, S., Young, R. J. (2004) Composite micromechanics of hemp fibres and epoxy resin microdroplets. *Journal of Materials Science*, 64 (5), pp 767-772
- EN 634-1 (1995), Cement-bonded particleboards. Specification. Part 1 : General requirements. CEN, Brussels
- EN 634-2 (2007), Cement-bonded particleboards. Specifications. Part 2: Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions. CEN, Brussels
- EN 13501-1 (2018), Fire classification of construction products and building elements; Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. CEN, Brussels
- EN 12664 (2001), Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance. CEN, Brussels.
- FAO (2018) Banana market review: Preliminary results for 2018. United Nations: Rome.
- Foreman, N. J., Islam, M. S., Pickering, K. L. (2011) Influence of accelerated ageing on the physic - mechanical properties of alkali-treated industrial hemp fibre reinforced composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95(1), pp 59-65
- Gjinolli, A., Wolfe, R. (1996) Assesment of cement-bonded wood composites as means of using low-valued wood for engineered applications. Conference in International Wood Engineering, pp 74-81
- Goodland, R., Robert & Ledec, G. (1987) Neoclassical economics and principles of sustainable Development. *Ecological Modelling*. *Ecological Modelling*, 38(1-2), pp 14-46
- Latorraca, J. V. F. (1996) Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* na manufatura de painéis de madeira-cimento, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba
- Lee, I., Cho, M. H. (1991) Finite element analysis of clamped symmetric composite panels using shear deformable finite elements. *Computers and Structures*, 46(2), pp 72-165
- Macêdo, A. N., Souza, A. A. C. (2012) Cement-wood particleboards made with waste from the Amazon timber industry. *Ambiente Construído*, 12(2), pp 45-89
- Maloney, T. M. (1993) Modern particleboard & dry – process of fibreboard manufacturing, San Francisco: Miller Freeman
- Matoski, A. (2005) Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba
- Medeiros, M. H. F., Pereira, E., Helene, P. (2012) Tratamento de superfície com silicato de sódio para concreto: penetração de cloretos e absorção de água. *Revista ALCONPAT*, 2(3), pp 149-161

Melo, R. R., Stangerlin, D. M., Sousa A. P., Cademartori, P. H. G., Scneid, E. (2015) Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. *Ciência Rural*, 45(1), pp 35-42

Moraes, N. C., Henkes, J. A. (2013) Avaliação do programa de gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, 2(1), pp 113-134

Mrema, A. L. (2013) Properties of boards made from rice husk and Portland cement as binders and reinforced with sisal fibers. Conference on Advances in Cement and Concrete Technology in Africa, College of Engineering and Technology, Tanzânia

NP EN 310 (2002), Placas de derivados de madeira. Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão. IPQ, Caparica

NP EN 317 (2002), Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira. Determinação do inchamento em espessura após imersão em água. IPQ, Caparica

NP EN 319 (2002), Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira. Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa. IPQ, Caparica

NP EN 321 (2010), Placas de derivados de madeira. Determinação da resistência à humidade através de ensaios cíclicos. IPQ, Caparica

NP EN 322 (2002), Placas de derivados de madeira. Determinação do teor de água. IPQ, Caparica

NP EN 323 (2002), Placas de derivados de madeira. Determinação da massa volúmica. IPQ, Caparica

NP EN 325 (2013), Placas de derivados de madeira. Determinação das dimensões dos provetes. IPQ, Caparica

NP EN 326-1 (2002), Placas de derivados de madeira. Amostragem, corte e inspeção. Parte 1: Amostragem e corte dos provetes e expressão dos resultados dos ensaios. IPQ, Caparica

NP EN 13986+A1 (2004, 2018), Placas de derivados de madeira para utilização na construção,. Características, avaliação da conformidade e marcação. IPQ, Caparica

Parracha, J. L. (2018) Avaliação do impacto de caruncho pequeno em estruturas antigas de madeira, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FCT NOVA

Pfeil, M., Pfeil, W. (2003) Estruturas de madeira, Livros Técnicos e Científicos SA

Pinheiro, P. (2015) Desenvolvimento de um sistema fibroso multicamada para reabilitação de edifícios, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho

Pinto, C. (2014) Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de pinho bravo e de freixo do nordeste transmontano, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Bragança

Placet, V. (2009) Characterization of the thermo-mechanical behaviour of hemp fibres intended for the manufacturing on High performance composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(8), pp 1111-1118

Rama, J. (2014) Eco-painéis construídos a partir de madeira e resíduos de palha/casca de arroz, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Coimbra

Rao, B. N., Swadesh, K. S. (2005) Development of soya-based adhesive in plywood manufacturing. International Conference on Materials Processing and Characterization, pp 3027-3031

Ghavami, K. (2005) Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. Cement & Concrete Composites, pp 637-649

Schwarz, H. G. (1989) Cement bonded boards in Malaysia, Int. Conference on Fibre and Particleboard Bonded with Inorganic Binders, pp 91-93

Sudin, R., Swamy, N. (2006) Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration. Journal of Materials Science, 41(21), pp 6917-6924

W1:http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Bananas/Documents/Banana_Market_Review_Prelim_Results_2018.pdf, acedido a 02/03/2019

W2:http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos_Viroc/Dossiers_Tecnicos/Viroc_Dossier_Técnico_PT, acedido a 15/05/2019

Anexo – Resultados individuais dos ensaios

A – RESULTADOS DO ENSAIO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO

	λ (W/m°C)						
Designação do painel	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Média	Desvio padrão
B0	0,599	0,581	0,582	0,544	0,516	0,564	0,009
B25	0,544	0,570	0,573	0,570	0,577	0,567	0,002
B50	0,557	0,662	0,617	0,618	0,599	0,611	0,001
B75	0,634	0,593	0,624	0,659	0,558	0,613	0,011
B'0	0,537	0,530	0,393	0,533	0,591	0,517	0,018
B'25	0,519	0,539	0,561	0,538	0,523	0,536	0,002
B'50	0,558	0,578	0,661	0,623	0,634	0,611	0,006
B'75	0,627	0,558	0,603	0,697	0,593	0,616	0,002

	C_p (J/m³°C)						
Designação do painel	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Média	Desvio padrão
B0	1,42E+06	1,50E+06	1,51E+06	1,52E+06	1,40E+06	1E+06	1E+09
B25	1,48E+06	1,48E+06	1,63E+06	1,57E+06	1,59E+06	2E+06	3E+09
B50	1,67E+06	1,48E+06	1,61E+03	1,45E+06	1,51E+06	1E+06	4E+11
B75	1,65E+06	1,59E+06	1,61E+06	1,59E+06	1,54E+06	2E+06	6E+08
B'0	-	1,53E+06	-	-	1,43E+06	1E+06	5E+04
B'25	1,46E+06	1,59E+06	1,52E+06	1,39E+06	1,52E+06	1E+06	4E+09
B'50	1,62E+06	1,63E+06	1,61E+06	1,52E+06	1,65E+06	2E+06	2E+09
B'75	1,70E+06	1,59E+06	1,53E+06	1,60E+06	1,48E+06	2E+06	3E+09

B – RESULTADOS DO ENSAIO DE TEOR DE HUMIDADE

	1			2			3			4		
	Peso Ini. (g)	Peso Fim (g)	Hum. (%)	Peso Ini. (g)	Peso Fim (g)	Hum. (%)	Peso Ini. (g)	Peso Fim (g)	Hum. (%)	Peso Ini. (g)	Peso Fim (g)	Hum. (%)
B'0	96,59	86,71	11,4	91,72	82,34	11,4	100,34	90,56	10,8	94,87	85,38	11,1
B'25	108,54	99,82	8,7	113,87	104,34	9,1	93,31	85,54	9,1	96,57	88,52	9,1
B'50	131,42	121,59	8,1	116,85	108,22	8,0	90,32	83,18	8,6	122,97	113,54	8,3
B'75	92,70	85,42	8,5	116,43	108,32	7,5	108,32	100,63	7,6	92,95	85,73	8,4

C – RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO

Provete	Espessura [mm]	Comprimento [mm]	Fmáx [N]	fm [N/mm2]	Em [N/mm2]
B0_1	21,90	51,28	291	5,68	5658
B0_2	21,41	51,05	199	4,09	3924
B0_3	21,26	51,00	151	5,03	2744
B0_4	23,82	50,93	296	5,83	6487

Provete	Espessura [mm]	Comprimento [mm]	Fmáx [N]	fm [N/mm2]	Em [N/mm2]
B25_1	19,90	50,91	302	7,20	6692
B25_2	20,12	51,21	223	6,54	4902
B25_3	20,82	51,07	305	6,61	4589
B25_4	21,14	51,94	333	6,89	6487

Provete	Espessura [mm]	Comprimento [mm]	Fmáx [N]	fm [N/mm2]	Em [N/mm2]
B50_1	21,67	50,33	279	5,66	6550
B50_2	22,05	50,66	372	7,25	8084
B50_3	21,90	50,23	254	6,87	5078
B50_4	21,48	51,04	372	7,59	7888

Provete	Espessura [mm]	Comprimento [mm]	Fmáx [N]	fm [N/mm2]	Em [N/mm2]
B75_1	18,48	50,51	234	6,50	8540
B75_2	18,89	50,53	156	6,22	4119
B75_3	20,91	50,95	236	5,08	6540
B75_4	19,40	51,17	257	6,41	8346

D – RESULTADOS DO ENSAIO DE INCHAMENTO EM ESPESSURA

Data Ensaio	Placa	Inchamento - Registo de Dados												Inchamento Grampo							Inchamento Lote									
		I1			I2			I3			I4			Coef. Var.		Desvio Padrão Grampo	Média Grampo	U5% Grampo	Coef. Var.		Desvio Padrão Lote	Média Lote	U5% Lote							
		Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Calc.	Utiliz.				Calc.	Utiliz.										
7/ago	B'0	25,49	25,61	0,46	25,24	25,3	0,23	22,4	22,46	0,26	22,43	22,49	0,27	0,3	0,3	0,11	0,3	0,4	0,1	0,1	0,06	0,38	0,45							
7/ago	B'25	20,75	20,78	0,14	20,02	20,1	0,39	19,21	19,23	0,10	22,01	21,94	-0,32	7,2	7,2	0,30	0,0	0,2	0,8	0,8	0,17	0,20	0,40							
7/ago	B'50	25,42	25,44	0,07	17,49	17,54	0,28	19,47	19,53	0,30	24,32	24,27	-0,21	2,0	2,0	0,24	0,1	0,3	0,5	0,5	0,14	0,25	0,41							
7/ago	B'75	21,63	21,67	0,18	17,5	17,52	0,11	19,26	19,3	0,20	18,62	18,62	0	1,4	1,4	0,09	0,1	0,1	0,4	0,4	0,05	0,11	0,17							

E – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E INCHAMENTO EM ESPESSURA ATRAVÉS DE ENSAIOS CÍCLICOS

T1 _C		T2 _C		T3 _C		T4 _C		Desvio Padrão Grampo	Média Grampo	L5% Grampo
Comp. (mm)	Larg. (mm)	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Comp. (mm)				
51,27	51,38	51,58	51,99	51,45	50,55	49,83	50,40	0,33	0,70	0,60
51,07	50,77	50,99	50,88	51,01	49,96	50,90	50,85	0,09	0,74	0,63
50,89	50,92	49,72	47,98	50,57	48,22	50,85	50,63	0,13	0,71	0,55
49,75	50,63	51,01	50,53	50,30	51,26	51,15	50,65	0,09	0,78	0,68

Inchamento em espessura através de ensaios cíclicos												
	1			2			3			4		
	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)	Esp. Ini (mm)	Esp. Fim (mm)	Inch. (%)
B'0	25,48	25,53	0,195848	25,27	25,27	0	22,4	22,41	0,044623	22,43	22,46	0,133571
B'25	20,75	20,78	0,14437	20,02	20,09	0,348432	19,21	19,21	0	22,01	22,01	0
B'50	25,42	25,42	0	17,49	17,5	0,057143	19,47	19,5	0,153846	24,32	24,32	0
B'75	21,63	21,63	0	17,5	17,51	0,05711	19,26	19,28	0,103734	18,62	18,62	0